



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

**VYHOTOVENÍ 3D MODELU ČÁSTI BUDOVY SPŠ
STAVEBNÍ BRNO**

3D MODELING OF A PART OF THE BUILDING OF SPŠ STAVEBNÍ BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Penk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KURUC, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. David Penk
Název	Vyhotovení 3D modelu části budovy SPŠ stavební Brno
Vedoucí práce	Ing. Michal Kuruc, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Vyhláška č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením.

Novotná, H.: Základy BIM I. – Revit Architecture, seznámení s programem, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014.

Novotná, H.: Základy BIM II – Revit Architecture pokročilé kapitoly, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015.

Bc. Jakub Staufčík Využití laserového skenování v informačním modelování budov. Brno, 2019. 62 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Manuály a tutoriály programu Autodesk Revit.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V dané lokalitě Střední průmyslové školy stavební v Brně navrhnete, vybudujete a zaměříte síť měřických stanovisek. Uskutečnete měření potřebná pro zmapování přilehlého okolí budovy a interiéru školy v zadaném rozsahu, využijte především technologii GNSS, 3D laserové skenování a metodu tachymetrie. Založte model v programu Autodesk Revit a vymodelujte základní stavební konstrukce vybrané části budovy.

Zpracujte měření a vyhotovte následující přílohy: měřená data (ve formátu job a zap), výpočetní protokoly (ve formátu txt, doc nebo pdf), seznamy souřadnic (ve formátu txt), výslednou účelovou mapu přilehlého okolí (ve formátech dgn, pdf i v tištěné formě), bodové mračno (ve formátu las nebo pod), 3D model objektu (ve formátu rvt, příp. ifc nebo fbx).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Michal Kuruc, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá tvorbou 3D modelu z dat získaných metodou laserového skenování. První část práce se zabývá teoretickými základy informačního modelování budov a metody laserového skenování. Zbytek práce popisuje podrobný postup od sběru dat po tvorbu tohoto modelu. Nejvíce prostoru je zde věnováno práci v programovém prostředí Revit.

KLÍČOVÁ SLOVA

BIM, Informační modelování budovy, Revit, Laserové skenování, Bodové mračno

ABSTRACT

The thesis deals with the creation of a 3D model from data collected by laser scanning. The first part deals with the theoretical foundations of buildings information modeling and method of laser scanning. The rest of the work describes the detailed process from data collection to the creation of the model. Most of the space is devoted to work in the Revit software environment.

KEYWORDS

BIM, buildings information modeling, Revit, Laser scanning, Point cloud

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. David Penk *Vyhotovení 3D modelu části budovy SPŠ stavební Brno*. Brno, 2021. 74 s., 14 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Vyhotovení 3D modelu části budovy SPŠ stavební Brno* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2021

Bc. David Penk
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vyhotovení 3D modelu části budovy SPŠ stavební Brno* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2021

Bc. David Penk
autor práce

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Kurucovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky během měření a vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Tomáši Mrůzkovi, Bc. Michalovi Jiráskovi a Bc. Peterovi Kučeravému za pomoc při měření. V neposlední řadě děkuji mojí rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

1 Obsah

2	Úvod	10
3	SPŠ Stavební Brno	11
3.1	Historie školy	11
3.2	Popis zpracovávané části	11
4	BIM	13
4.1	Historický vývoj BIM	14
4.2	Současná charakteristika	15
4.2.1	Formát IFC	15
4.2.2	Míra podrobnosti BIM	16
4.3	BIM u nás	18
4.4	Revit	18
5	Laserové skenování	20
6	Sběr a zpracování dat	22
6.1	Použité vybavení	22
6.1.1	Totální stanice Trimble M3 DR2	22
6.1.2	Laserový skener FARO Focus 3D S 120	23
6.1.3	Nivelační přístroj Leica Sprinter 150M	25
6.2	Rozmístění vlíčovacích bodů	26
6.3	Měřická síť	26
6.4	Laserové skenování	27
6.4.1	Sběr dat	27
6.4.2	Spojování skenů	29
6.4.3	Transformace do referenčních systémů	34
6.4.4	Tvorba výsledného bodového mráčka	35
7	Tvorba 3D modelu	37
7.1	Zavedení souřadnicového systému JTSK do projektu	37
7.2	Zavedení výškového systému Bpv do projektu	39
7.3	Mračna bodů v Revitu	39
7.4	Podlaží	40
7.5	Stavební konstrukce	41
7.5.1	Stěny	41
7.5.2	Podlahy	43

7.5.3	Schodiště	43
7.5.4	Střecha	45
7.6	Tvorba Rodin objektů	46
7.6.1	Okna a dveře.....	49
7.6.2	Sloupy.....	53
7.7	Designové prvky na stěnách.....	57
7.7.1	Exteriér.....	57
7.7.2	Interiér.....	59
8	Zhodnocení přesnosti výsledného modelu.....	61
9	Výstupy práce	63
9.1	3D model objektu	63
9.2	Bodové mračno	64
9.3	Účelová mapa.....	65
9.4	Ostatní výstupy.....	65
10	Závěr.....	66
11	Seznam použitých zdrojů	68
12	Seznam obrázků	70
13	Seznam tabulek.....	72
14	Seznam použitých zkratk	73
15	Seznam příloh	74

2 Úvod

Účelem této práce je vytvořit 3D model části budovy SPŠ Stavební v Brně a jejího nejbližšího okolí v programovém prostředí Autodesk Revit. Výsledný model, včetně ostatních výstupů, bude předán SPŠ Stavební a bude sloužit k potřebám výuky.

Těžiště celé práce spočívá v zaměření požadované části objektu metodou laserového skenování a vytvoření 3D modelu z výsledného bodového mračna. Laserové skenování v současnosti platí za jednu z nejefektivnějších metod sběru přesných prostorových dat. V problematice BIM mohou mít takto získaná data širokou škálu využití. V našem případě je budeme využívat k 3D modelování historické budovy, přičemž ve velké míře využijeme vysokou úroveň detailu, s jakou byla data pořízena. Pro připojení modelu do systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) byla vybudována síť pomocných měřických bodů za využití technologií GNSS a měření totální stanicí. Pro připojení do výškového systému Baltského – po vyrovnaní (Bpv) byla využita metoda technické nivelace.

V teoretické části je charakterizován informační model budovy (BIM) jako takový, včetně jeho předností, legislativního ukotvení v ČR a jeho zavádění do praxe u nás. Dále je zde v krátkosti představen program Revit, v jehož prostředí je model vytvářen. Na závěr teoretické části je představena metoda laserového skenování.

V praktické části jsou popsány jednotlivé úkony, které vedly k vytvoření finálního modelu. Je zde popsána problematika sběru dat námi použitými metodami a jejich zpracování ve vybraných programech. Věnuji se zde především popisu kroků při tvorbě modelu v programu Revit.

Výstupy práce mohou mít při výuce četné využití. Vzhledem k tomu, že byl model vyhotoven pouze z dat získaných laserovým skenováním, neobsahuje například informace z oblasti pozemního stavitelství jako je skladba vodorovných a svislých konstrukcí, z oblasti technického zařízení budov, tedy rozvody sítí v budově, či další informace potřebné pro správu budovy. Všechny tyto informace je tedy možné do modelu v rámci výuky doplnit, případně samotný model editovat nebo rozšířit o zbylé části budovy.

3 SPŠ Stavební Brno

3.1 Historie školy

Střední průmyslová škola stavební v Brně byla založena jako vůbec první česká průmyslová škola na Moravě. Byla zřízena výnosem tehdejšího „ministerstva kultu a vyučování“ dne 18. února 1885. Oficiální název zněl: “Filiální kursy s vyučovací řečí českou při císařsko-královské státní průmyslové škole v Brně“. Prvním významným předělem byl rok 1901 – v tomto roce bylo zahájeno studium v dnešní podobě: čtyřleté denní studium ukončené maturitou. V současné době má škola v rámci oboru stavebnictví mimo tradiční zaměření také zaměření rekonstrukce staveb a architektura a výuka oboru geodézie. [1]

3.2 Popis zpracovávané části

Vzhledem k velikosti budovy nebylo časově možné ji v rámci této práce zpracovat celou. Pro vypracování modelu byla tedy zvolena pouze část v okolí vstupu a ústředního schodiště. Dále bylo kvůli příliš komplikovanému přístupu do prostoru podkroví upuštěno od modelace konstrukčních prvků střechy a byl vyhotoven pouze střešní plášť.

Předmětem zpracování je mimo jiné průčelí budovy, které se nachází směrem do náměstí 28. října. Nachází se zde mělký trojdílný hlavní portál, tvořený dvojicemi pilastrů a polosloupů, jež vybíhají do přízemí. Vstupní prostor otevírají dřevěná dobová řezaná dvoukřídlá vrata, jež ústí do vestibulu. Fasáda přízemí je naopak vyplněna bosáží s jemnou texturou, která je od suterénu oddělena římsou. Jednotlivé osy jsou prolamovány okny s profilovanými ostěními, podokenními římsami na konzolách a osovými klenáky. Fasáda prvního patra je vyplněna rustikou, která je od přízemí oddělena římsou. Jednotlivé osy jsou prolamovány okny s profilovanými ostěními, průběžnou parapetní římsou a nadokenními římsami na konzolách se zubořezy. Fasáda druhého patra je opět vyplněna rustikou, která je od prvního patra oddělena římsou. Jednotlivé osy jsou prokládány okny s profilovanými ostěními, průběžnou parapetní římsou a nadokenními římsami s osovými rámci. Ostění každého druhého okna je opatřeno ionskými sloupky a trojúhelníkovým frontonem. [2] [3]

Byla také zpracovávána druhá strana budovy, tedy fasáda do školního dvora. Ta je oproti průčelí o poznání jednodušší. Nachází se zde pouze okna s profilovanými ostěními, průběžnou parapetní římsou a v horní části je fasáda zakončena hlavní římsou.

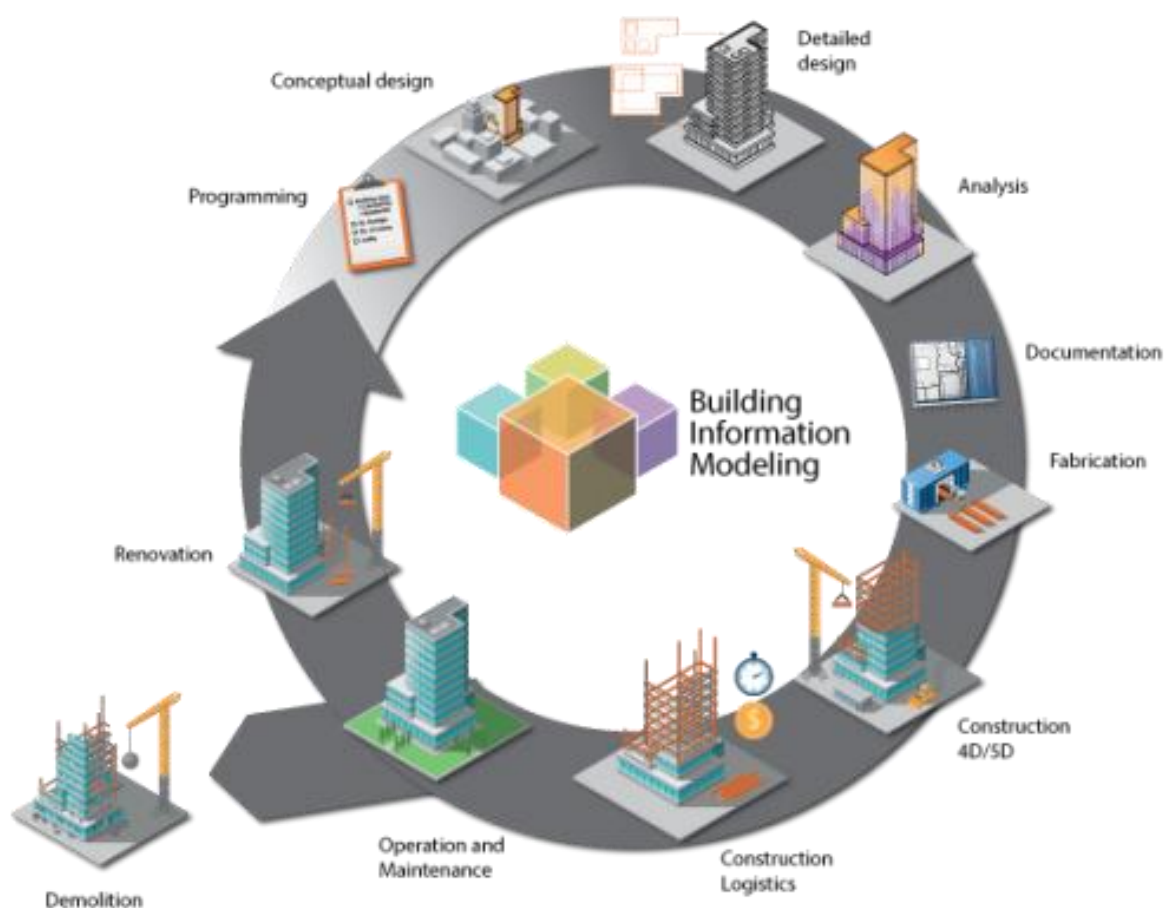
Hlavním motivem celého modelu je především vstupní hala a prostor hlavního schodiště, které stoupá od prvního podzemního až do třetího nadzemního podlaží. Ve vestibulu se nachází velké schodiště do mezipatra s balustrádami po stranách. Po jeho stranách klesají další dvě schodiště do prvního podzemního patra. Z mezipatra se můžeme vydat do stran, kde se po několika schodech dostaneme do prvního nadzemního patra, nebo můžeme vstoupit na hlavní schodiště, které nás dovede až do třetího nadzemního patra, popřípadě směrem dolů do prvního podzemního patra. Především tento prostor schodišť je ústředním motivem modelu. Dále jsou také zaměřeny chodby a kanceláře přilehlé prostorám schodiště.



Obr. 1 SPŠ Stavební Brno

4 BIM

Informační modelování budovy (anglicky Building Information Modelling nebo Building Information Management, zkráceně BIM) je proces vytváření a správy dat o budově během celého jejího životního cyklu. Lze si ho představit jako otevřenou databázi informací o objektu, která může zahrnovat data od prvotního návrhu stavby přes výstavbu, správu, rekonstrukci až po její demolici a případně i uvedení prostoru stavby do původního stavu. Velkou výhodou je možnost přispívání do databáze od všech účastníků stavebního procesu, a tím i efektivní předávání informací mezi nimi. [4] [5]



Obr. 2 Building Information Modeling [20]

4.1 Historický vývoj BIM

V roce 1975 publikoval americký profesor Charles Eastman popis pracovního prototypu s názvem Building Description System (BDS) v časopise AIA Journal. Článek popisoval interaktivní prvky kombinující informace o mapách, fasádách, pohledech a řezech v jediném dokumentu. Každou změnu projektu by pak stačilo provést jednou a tato změna by se projevila i ve všech ostatních výkresech. Snadno by se tak generovaly výkazy o nákladech, materiálových požadavcích a dodávkách stavby. Popisoval jakousi jednoduchou integrovanou databázi pro vizuální a kvantitativní analýzy, tedy v podstatě BIM tak, jak ho známe dnes. [6] [7]

Za prvního průkopníka technologie BIM je považován software RUCAPS (Really Universal Computer Aided Production System). Ten vznikl ve Velké Británii a začal být brzy využíván i komerčně. Byl například využit jako podpora při renovaci terminálu letiště Heathrow. Už v 80. letech přitom tento systém pracoval s 3D informacemi. Od RUCAPS byly následně odvozeny i další softwarové systémy jako Sonata (prodán Aliasu, ten pak Autodesku) nebo Reflex. Možnosti RUCAPS byly údajně inspirací i pro vývojáře firmy Revit Technology Corporation (RTC). Ta byla v roce 2002 odkoupena Autodeskem a její produkt – Revit – je dnes asi nejrozšířenějším softwarem pro BIM navrhování. Významnou roli v přijetí BIM jako platformy pro výměnu dat bylo vyvinutí formátu souboru International Foundation Class (IFC), který umožňuje přesun dat napříč platformami, což v podstatě dělá soubor kompatibilním s různými programy BIM. [6] [7]

Za poslední desetiletí se BIM rozvinul od technických konceptů na plnohodnotnou metodiku zasahující všechny fáze stavby. Změna způsobu projektování má dopad na celý obor stavebnictví. Národní legislativy jsou doplňovány o požadavky na BIM data jak u veřejných zakázek, tak i v některých zemích u celého oboru stavebnictví. Výrobci stavebních komponent vytvářejí parametrické BIM knihovny svých výrobků nebo celých prefabrikovaných celků, aby zefektivnili proces navrhování a marketing. Společnosti vyvíjející BIM software ho propojují s dalšími moderními technologiemi jako třeba s cloudem pro snadné sdílení a prezentaci dat a jejich napojení na externí nástroje (kalkulace, bezpečnost, řízení stavby...), s technologií 3D tisku, s prefabrikačními nástroji, s nástroji pro 3D skenování nebo dalšími systémy, které umožňují monitoring staveb. [6]

4.2 Současná charakteristika

Základní myšlenkou systému je práce architektů, statiků a profesních specialistů s jednotným modelem po celou dobu životnosti stavby. Tento model poté přestává být pouhým 3D zobrazením objektů a stává se z něj v podstatě „virtuální stavba“. BIM tedy není nový software nebo nástroj, ale způsob projektování a práce s informacemi. Onen způsob se tedy nemusí omezovat pouze na obor pozemních staveb, ale najde své uplatnění také například v dopravním a vodním stavitelství nebo v inženýrském stavitelství obecně.

Základem je databáze uchovávající informace o jednotlivých prvcích modelu. Je potřeba si uvědomit, že informační model stavby není totéž jako 3D model. 3D model je pouze jedna z možností prezentace informací obsažených v databázi. Jako další interpretace si můžeme uvést například 2D výkresy a řezy, tabulky a podobně. [8] [5]

Ideální BIM model je ten, který všechny potřebné údaje nese jako datové položky u jednotlivých prvků v podobě parametrů, atributů a vlastností v takové podrobnosti, aby informace v jiné podobě nebyly pro popis budovy potřeba. Jako příklad těchto údajů můžeme jmenovat například konstrukční a materiálové vlastnosti, jednotkovou cenu, harmonogram kontrol či provozní náklady. [4] [5]

Mezi BIM software pro architekty a stavební inženýry patří například: Allplan Architecture, ArchiCAD, Bentley Architecture, Revit Architecture a další.

4.2.1 Formát IFC

Vzájemná komunikace mezi BIM aplikacemi probíhá pomocí otevřeného souborového formátu IFC (The Industry Foundation Classes), který je vyvíjen mezinárodní organizací buildingSMART. IFC je otevřený, na vývojářích programů nezávislý souborový formát, který s sebou nenese pouze informace o prostorových vazbách (3D model), ale též dovoluje ke každému stavebnímu prvku přiřadit další potřebné informace, jako například typ výrobku, výrobce či jeho cenu, případně další potřebné a užitečné informace.

„IFC formát nepatří jednomu dodavateli software, je neutrální a nezávislý na konkrétním výrobcu. IFC vytváří BIM standard pro sdílení informací – OpenBIM.“ [4]

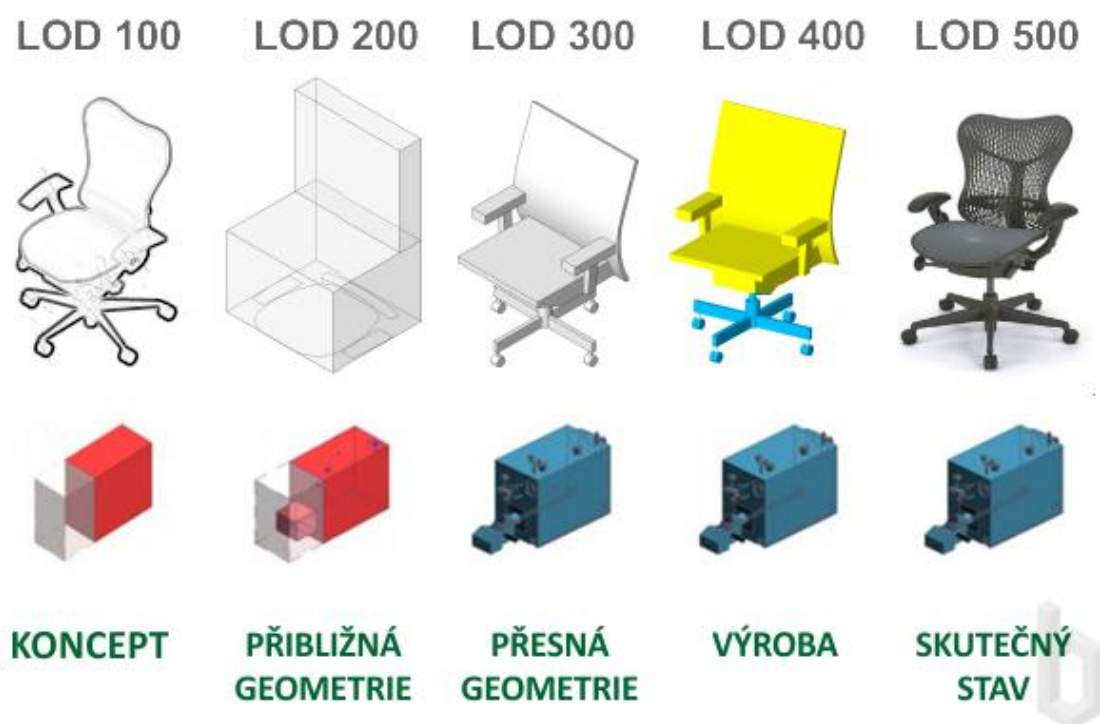
4.2.2 Míra podrobnosti BIM

„Pojem Level of Development (LOD) lze popsat jako doporučení, které umožňuje odborníkům ve stavební praxi přesně specifikovat a jasně naformulovat danou spolehlivost informačního modelu stavby v různých fázích návrhu, dá se říci, že LOD je v podstatě jakýmsi měřítkem, jak zaimplementované informace reprezentují daný BIM element. LOD není nezbytně měřítkem množství informací, ačkoliv je samozřejmé, že v daném BIM elementu musí být dostatek informací, aby byla splněna úroveň požadovaného LOD. LOD současně nedefinuje přesnost grafického zpracování daného BIM elementu. Grafický vzhled je jen jedna část informace o daném elementu a obvykle je považována za nejméně důležitou. Dodavatel daného BIM elementu nepotřebuje přesně vědět, jak daný objekt vypadá, nebo kde přesně bude v informačním modelu osazen, ale potřebuje vědět název výrobce a číslo modelu, popřípadě je také nutné znát konkrétní rozměry objektu pro případnou koordinaci s ostatními objekty kolem něj.“ [9]

Existuje pět základních kategorií LOD:

- LOD 100 – Studie: Koncepční model obsahuje základní výměry ploch a objemů i orientaci ke světovým stranám s osazením do terénu. Součástí konceptního modelu by měl být i odhad nákladů. Např. systém vzduchotechniky zahrnuje pouze předpokládaná místa stoupacího potrubí a jednotlivých vyústek, které jsou reprezentovány pouze 2D bloky.
- LOD 200 – Rozpracovaný návrh: Model obsahuje obecný návrh konstrukcí a vnitřního prostředí, jejich přibližný tvar, velikost, umístění, orientaci atd. Např. systém vzduchotechniky zahrnuje přibližné trasy potrubí, ale již specifikuje jejich přesné rozměry bez podrobností jako příruby nebo přesné poloměry kolen potrubí.
- LOD 300 – Finální návrh: Model reprezentuje poslední fázi návrhu. Vymodelované prvky již mají přesné rozměry a jednotlivé profese jsou zkoordinovány. Model je vhodný pro zpracování položkového rozpočtu stavby. Tato úroveň LOD je vhodná pro zpracování tradiční projektové dokumentace stavby včetně dílenských dokumentací. Např. systém vzduchotechniky zahrnuje již přesné rozměry potrubí včetně přírub atd. a současně již definuje jejich přesné umístění v návaznosti na ostatní profese.

- LOD 400 – Realizace: Model obsahuje konkrétní návrh konstrukcí a vnitřního prostředí, veškeré prvky obsahují technická data od výrobců a dodavatelů. Tento model je zpracován do takové podrobnosti, že je možné ho využít pro výrobu jednotlivých prvků, tak i pro jejich následnou montáž. Architekti či stavební inženýři zřídkakdy využívají tuto úroveň pro zpracování informačního modelu stavby. Např. systém vzduchotechniky definuje přesné rozměry jednotlivých dílů potrubí, včetně systému upevnění a modelu CAM.
- LOD 500 – Užívání: Model obsahuje zrealizované konstrukce, tak i systémy vnitřního prostředí. Takto zpracovaný model je vhodné využívat pro samotnou údržbu a provoz skutečného objektu. [10]



Obr. 3 LOD [9]

„Smysl LOD tabulky výše je ten, že sděluje účastníkům v projektu, jaké informace mohou v případě potřeby využít, jinak řečeno LOD měří spolehlivost a důvěryhodnost té dané informace. Například židle od konkrétního výrobce, která by uspokojila LOD 400 lze využít i v případě požadavku na LOD 100, s tím že každý bude vědět, že tato konkrétní židle není nutně ta, která bude ve skutečnosti objednána.“ [9]

„V poslední době se ve Velké Británii upouští od termínu „Level Of Definition“ a směřuje se k méně matoucímu názvu a tím je „Level Of Model Definition“ tedy LOMD, který je kombinací grafických atributů „Level Of Detail“ a negrafických atributů „Level Of Information“.“ [10]

4.3 BIM u nás

Zavádění metody BIM se u nás řídí dle Koncepce zavádění metody BIM v České republice z roku 2017, kterou vypracovalo ministerstvo průmyslu a obchodu na základě usnesení vlády č. 958 o významu metody BIM pro stavební praxi a návrh dalšího postupu pro její zavedení, ze dne 2. listopadu 2016. Vláda v něm vyjádřila podporu zavádění metody BIM v ČR v souvislosti s jejím vlivem na růst ekonomiky a konkurenceschopnosti ČR a uložila Ministerstvu průmyslu a obchodu (MPO), za podpory ostatních ministerstev, její vytvoření. [5]

Součástí koncepce je i Plán postupného zavádění BIM v ČR, kde můžeme mimo jiné nalézt harmonogram doporučených opatření včetně uvedení resortů, které nesou odpovědnost za jejich plnění. Je zde uvedeno několik kategorií těchto opatření, například Základní technické opatření, Vzdělávání, Problematika veřejných zakázek a další. Jako přelomový rok je uveden rok 2022, kdy nastane povinné použití BIM pro nadlimitní veřejné zakázky na stavební práce. Toto by mělo být vůbec poprvé, co bude nařízeno využití BIM v praxi.

4.4 Revit

Autodesk Revit je světově nejrozšířenější nástroj pro BIM projektování pozemních staveb. Jedná se o více než jen o CAD či o projekční software – výkresy (grafika) jsou jen jednou z možností jeho výstupů. Revit je databázově orientovaný systém umožňující plně souběžné projektování a snadnou modifikaci všech projekčních dokumentů pouhou změnou určitých parametrů stavby. Přispívá tak k zefektivnění a zrychlení projekčních procesů, především u větších a středních staveb. [11]

„Projektanti mohou pracovat na návrhu budov komplexně, nikoliv formou půdorysů, pohledů a řezů. V Revitu je každý výkres, 3D pohled, řez, detail či výkaz přímou reprezentací informací uložených v centrální databázi budovy. Cokoliv nakreslíte nebo upravíte, je ihned ukládáno do této databáze a za pomoci parametrického správce změn

i automaticky zaktualizováno ve všech ostatních reprezentacích daného objektu. Revit udržuje informace po celou dobu projekčního a stavebního procesu.“ [11]

Navrhování BIM je založeno na „umísťování“ objektů do modelu a úpravě jejich parametrů. Tyto objekty tvoří plnohodnotné stavební komponenty, jako jsou stěny, dveře a okna. I když provedeme úpravu a změníme jejich parametry, umístěné objekty si stále zachovávají svou základní identitu.

Každý objekt má své místo v hierarchii aplikace Revit. K popisu této hierarchické klasifikace používáme tyto termíny (od nejobecnějšího po nejkonkrétnější): objekty, rodiny, typy a prvky. To je základní uspořádání databáze modelu budovy.

Všechny prvky v modelu mají přiřazenou kategorii. To znamená, že například všechny dveře náleží do kategorie dveří. Tyto kategorie se potom následně dělí do rodin.

Rodiny jsou příslušné kolekce typů, které se liší pouze svými hodnotami parametrů. Kromě toho rodina navíc určuje, jak objekt funguje. Existují jejich dva základní typy: systémové rodiny a hostované neboli externí rodiny. Externí jsou uloženy v knihovnách, jako například okna a dveře. Systémové rodiny jsou rodiny objektů, jako jsou stěny, střechy a podlahy. Tyto systémové rodiny nemohou existovat mimo soubor projektu coby samostatné soubory.

Typ definuje, jaké má objekt vlastnosti, jak reaguje na jiné objekty a ony na něj, a jak se vykreslí v různých typech reprezentace.

Prvky rodin tvoří základ modelu. Zatímco rodina je abstraktním popisem toho, které parametry musí typ objektu mít a jak spolu tyto parametry souvisejí, prvek je konkrétním vzorkem tohoto typu. Tyto prvky lze umístit na různá místa návrhu. Některé mohou mít parametry nastavené na různé hodnoty, ale v zásadě sdílejí typ a třídu. V modelu může také existovat mnoho identických prvků určitého typu.

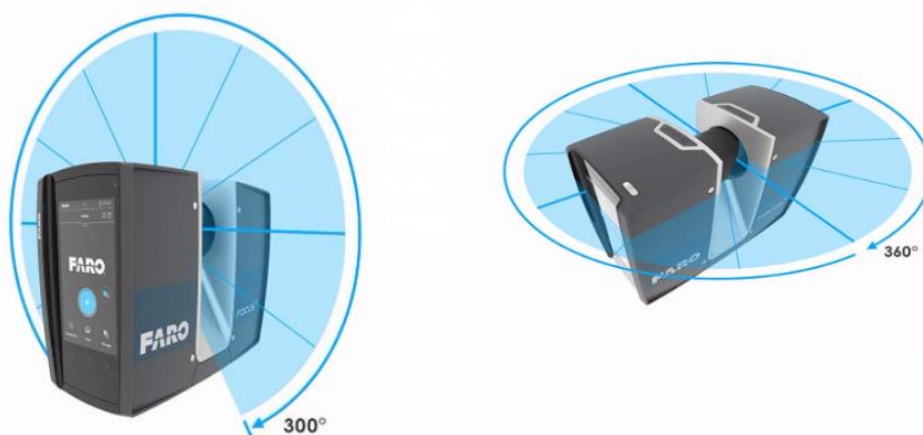
V rámci většiny rodin můžeme vytvářet vlastní typy. Typy lze vytvořit buď přímo v projektu, nebo jako externí soubor formátu *.rfa. Chcete-li upravit parametry typu, musíte buď zvolit, že tyto parametry chcete upravit, nebo musíte typ duplikovat a upravit parametry jeho duplikátu. Duplikace je ideální způsob, jak pracovat s typy, aniž by se při úpravách změnila hodnoty původních parametrů. [12]

5 Laserové skenování

Terestrické 3D skenovací systémy jako technologie umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů, historických, památkových a jiných objektů s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. Nasnímaný objekt může být pomocí softwaru zobrazen ve formě mračka bodů, na jejichž základě může být vytvořen model objektu. Většina skenovacích systémů využívá nejmodernější pulzní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou. [13]

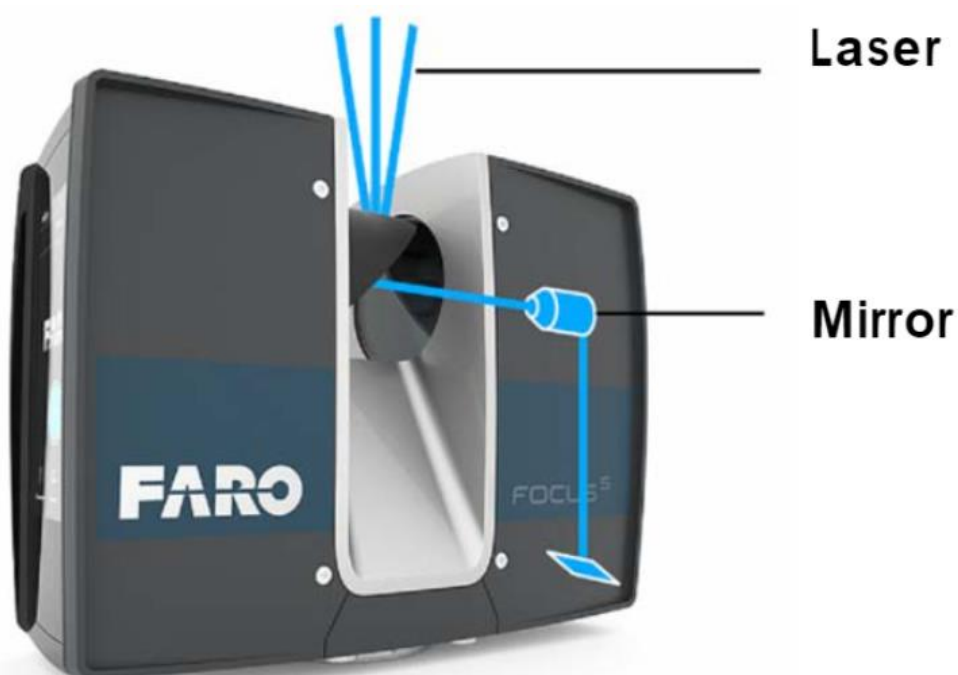
Jako hlavní výhody této technologie lze uvést přesné zaměření stávajícího stavu s výrazně vyšší produktivitou práce, a tedy s finančními úsporami, významné zkrácení práce v terénu, velmi rychlé zpracování digitálních modelů terénu nebo zpracování komplexních modelů složitých objektů. [13]

K určení souřadnic bodu P je třeba znát délku průvodiče d (měřená délka) a úhly ζ , ω . Úhly jsou získávány například z polohy zrcadel, které rozmítají laserový svazek. Délka pak impulsním nebo fázovým dálkoměrem skeneru synchronizovaně s polohou zrcadel. 3D skenery pak obecně fungují tak, že laserový svazek je naváděn podle programu na body rastru v pravidelném úhlovém kroku ve sloupcích či řádcích, přičemž je měřen horizontální a vertikální úhel a šikmá vzdálenost. Získané mračno bodů je získáno v souřadnicové soustavě skeneru, následně je volitelně transformováno prostřednictvím vřícovacích bodů do potřebné cílové soustavy. [14]



Obr. 4 FARO Focus - rozsah skenování [15]

Systém se skládá ze 3D skeneru, řídicí jednotky, programu pro řízení skenování, programu pro zpracování naměřených dat a příslušenství (stativ, baterie, terče, kabely, atd.). Využívají se systémy statické (při měření se nemění stanoviště přístroje) nebo dynamické (častěji se označují jako mobilní), které mohou být umístěny jak na dopravním prostředku pozemním (automobil, čtyřkolka, ...) nebo vodním (člun, ponorka, ...), tak i vzdušném (letadlo, helikoptéra, dálkově ovládané modely, apod.) [14]



Obr. 5 FARO Focus - princip měření [15]

6 Sběr a zpracování dat

Terénní práce probíhaly přerušovaně v časovém rozmezí od 3.8. do 18.9. 2020. Zahrnovaly rekognoskaci terénu a rozmístění vřícovacích bodů, budování měřické sítě i sítě vřícovacích bodů, dále laserové skenování a určení výšek trvale stabilizovaných bodů sítě technickou nivelací.

Nejprve proběhla rekognoskace terénu, při níž byla provedena pochůzka zpracovávanou částí objektu a byly v něm rozmístěny vřícovací body. Zároveň byla také předběžně rozvržena měřická síť, která se během terestrického měření dle potřeby doplňována, a bylo trvale stabilizováno několik bodů sítě. V rámci rekognoskace byly také vyhledány body ČSNS JM-071-601 a JM-071-602, které budou dále sloužit pro připojení měření do systému Bpv.

Do konce srpna bylo také provedeno laserové skenování, následné terestrické měření a připojení sítě do S-JTSK pomocí technologie GNSS. Měření bylo původně naplánováno na srpen z důvodu rekonstrukce vstupní haly. Ta se ovšem z července protáhla až do srpna, což zapříčinilo vznik časových kolizí, které v kombinaci s prázdninovým režimem, který omezoval náš pobyt v budově, způsobily rozdělení měření do celého měsíce. V září poté proběhlo dodatečné skenování kanceláří, do kterých v srpnu nebyl možný přístup a určení výšek trvale stabilizovaných bodů sítě technickou nivelací s připojením na body ČSNS.

6.1 Použité vybavení

6.1.1 Totální stanice Trimble M3 DR2

Pro měření sítě pomocných měřických stanovisek a vřícovacích bodů byla zvolena totální stanice Trimble M3 DR2 (v. č. D036441). Vzhledem k tomu, že výsledné souřadnice byly požadovány s řádově centimetrovou přesností, požadujeme řádově milimetrovou přesnost měření délek. Z toho důvodu byla použita trojpodstavcová souprava a totální stanice Trimble M3 DR2. Součástí trojpodstavcové soupravy, která byla vypůjčena, jsou tři dřevěné stativy Zeiss, tři hranoly Trimble a výtyčka na hranol. Pro připojení sítě do S-JTSK byla použita GNSS aparatura Trimble R4 (v. č. 5328440051).

Tab.1 Trimble M3 DR2- parametry

Parametry přesnosti Trimble M3 DR2

<i>Přesnost měření délek – na hranol</i>	2+2 ppm
<i>Přesnost měření délek – DR</i>	3+2 ppm
<i>Přesnost měření úhlů</i>	2'' / 0,5 mgon



Obr. 7 Trimble M3 DR2



Obr. 6 Trimble M3 DR2 II

6.1.2 Laserový skener FARO Focus 3D S 120

Ke skenování byly použity dva přístroje FARO Focus 3D S 120 (v. č. LLS061304311 a LLS061303451). K použití dvou přístrojů bylo přistoupeno v zájmu urychlení prací kvůli omezenému času pro vstup do objektu.

Focus3D je vysokorychlostní 3D laserový skener pro podrobné měření a dokumentaci. Díky laserové technologii a možnosti nastavení funkcí a parametrů skenování slouží k vytvoření detailních trojrozměrných obrazů složitých objektů a velkých geometrií. Výsledný obraz se sestává z milionů bodů, které poskytují přesnou digitální reprodukci stávajících podmínek. K jeho využití bylo přistoupeno především díky možnosti nastavení parametrů skenování a přesnosti v řádu milimetrů.

Tab.2 FARO Focus - parametry

Vybrané parametry přístroje FARO Focus 3D S 120

<i>Rozsah měření</i>	0,6 – 120 m
<i>Přesnost měření délek</i>	±2 mm
<i>Rychlost měření</i>	až 976 000 bodů za sekundu
<i>Rozsah měření – horizontální</i>	360°
<i>Rozsah měření – vertikální</i>	305°
<i>Velikost úhlového kroku</i>	0,009°
<i>Úhlová odchylka paprsku</i>	0,011°



Obr. 8 FARO Focus

Pro napojování jednotlivých skenů byly k přístrojům vypůjčeny dvě sady referenčních koulí. Jedná se o koule vyrobené s vysokou přesností o poloměru 7 cm a z vysoce reflexního materiálu. Koule se umísťují na vhodná místa ve skenované lokalitě tak, aby byly viditelné z potřebného počtu postavení skeneru. Jsou postavené buď na trojnožkách, které se k nim dají připevnit, nebo se umísťují pomocí magnetu na kovové objekty.



Obr. 9 Sada referenčních koulí

6.1.3 Nivelační přístroj Leica Sprinter 150M

Pro určení výšek podlaží v systému Bpv z bodů ČSNS byl vybrán přístroj Leica Sprinter 150M. Jedná se o digitální nivelační přístroj se střední kilometrovou chybou 1,5 mm.



Obr. 10 Leica Sprinter 150M

6.2 Rozmístění vlíčovacích bodů

Před zahájením veškerého měření byla provedena rekognoskace lokality a v budově byly rozmístěny vlíčovací body. Tyto body mají sloužit primárně pro transformaci bodového mračka do S-JTSK, ale dají se také velmi dobře využít pro spojování skenů spolu s referenčními koulemi. Jako vlíčovací body byly použity šachovnicové terče, které byly na stěny přilepeny oboustrannou lepicí páskou. Byly umístovány na dobře viditelná místa zhruba do výšky asi dvou metrů, aby nedošlo snadno k jejich zničení. I přesto, že měření probíhalo převážně v srpnu, byla tímto způsobem zajištěna jejich ochrana během běžného provozu, pokud by bylo potřeba provést případné doměření. Celkem bylo v budově rovnoměrně rozmístěno 15 vlíčovacích bodů. Vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek mezi měření totální stanicí a laserovým skenováním byly ovšem ztraceny některé body na fasádách. Jejich souřadnice nebylo možné zaměřit totální stanicí a sloužily tedy pouze jako navazovací body. Nejspíše vlivem cizího zavinění byl také zničen jeden z bodů uvnitř objektu. Dále bylo tedy pracováno se zbývajících 11 body, což je stále nadbytečný počet. Rovnoměrné rozmístění v celém rozsahu zaměřované části zůstalo zachováno.

6.3 Měřická síť

V okolí budovy byly stabilizováno čtyři pomocné měřické stanoviště, dvě na školním dvoře a dvě na náměstí 28. října. Připojení těchto bodů do S-JTSK bylo provedeno technologií GNSS, metodou RTK s využitím korekčních dat sítě CZEPOS. Další body byly buď trvale nebo dočasně stabilizovány uvnitř budovy. Výsledné souřadnice bodů měřické sítě byly určeny vyrovnáním v programu Groma v.12. Nejprve bylo provedeno vyrovnání sítě trvale stabilizovaných bodů. Střední souřadnicová chyba vyrovnání je 2,4 mm. Tato síť o delších záměrech tvoří jakousi kostru, do níž byly dále doplněny dočasně stabilizované body. Trvale i dočasně stabilizované body jsou znázorněny v příloze č. 2 Přehledka měřické sítě. Následně bylo provedeno vyrovnání sítě se všemi body sítě, kde byly souřadnice bodů z prvního vyrovnání uvažovány jako pevné. Střední souřadnicová chyba tohoto vyrovnání činí 1,3 mm.

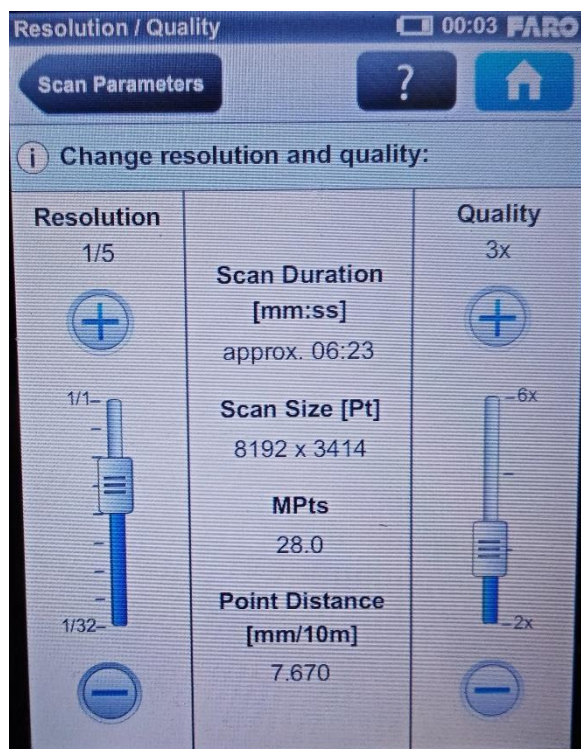
Výšky v systému Bpv, trvale stabilizovaných pomocných měřických stanovisek uvnitř budovy, byly určeny metodou technické nivelace z bodů ČSNS JM-071-601 a JM-071-602.

Z bodů sítě byly během měření určeny již dříve rozmístěné vřícovací body, pro kontrolu byly zaměřeny také některé vybrané podrobné body, jako třeba rohy místností a oken, a rovněž byl z bodů sítě zaměřen hřeben střechy.

6.4 Laserové skenování

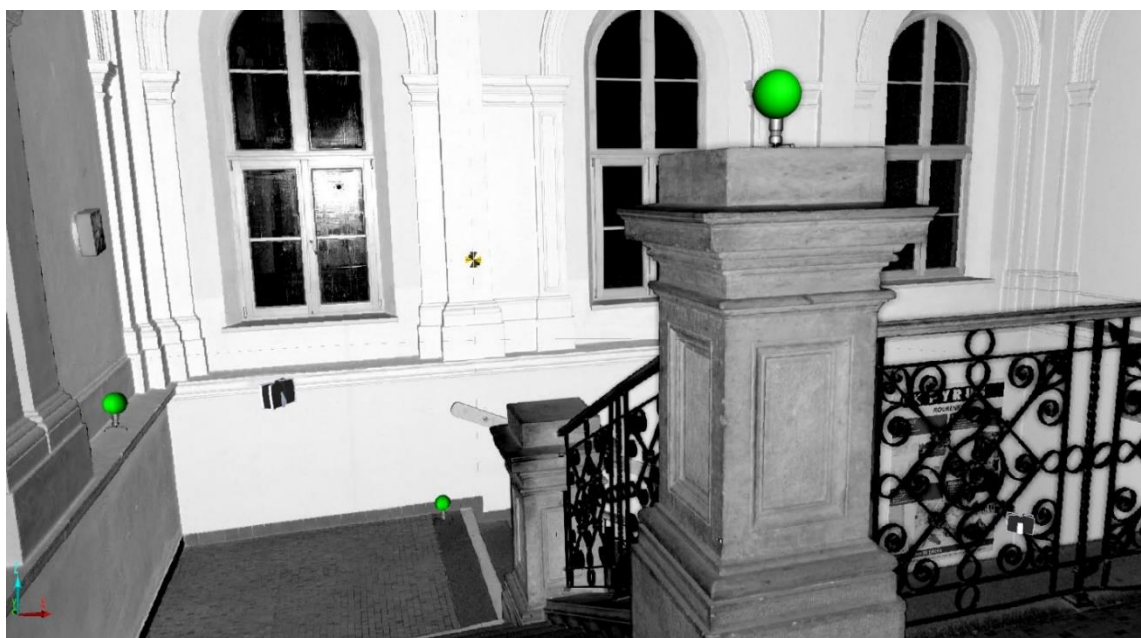
6.4.1 Sběr dat

Před samotným začátkem skenování je nutné si vhodně nastavit přístroj. Nastavují se zde parametry skenování. Při jejich nastavování je potřeba mít namysli, že každé zlepšení rozlišení a kvality má velký vliv na čas skenování. V našem případě jsme využili předem definovaný profil „Indoor ...10 m“, který byl následně upraven. Při použitém nastavení se na objektu vzdáleném 10 m určují body mračna v rastru o rozestupech 6 mm. Doba skenování jednoho takové stanoviška trvá asi 7 minut. Rozsah skenování byl jak v horizontálním, tak i ve vertikálním směru ponechán na maximu, tedy 360° a 305°. Ve vertikálním směru je maximální hodnota 305°, jelikož technicky není možné naskenovat prostor pod skenerem. A bylo také ponecháno pořizování panoramatických fotek, které následně využijeme při obarvení mračna.



Obr. 11 Nastavení parametrů skenování

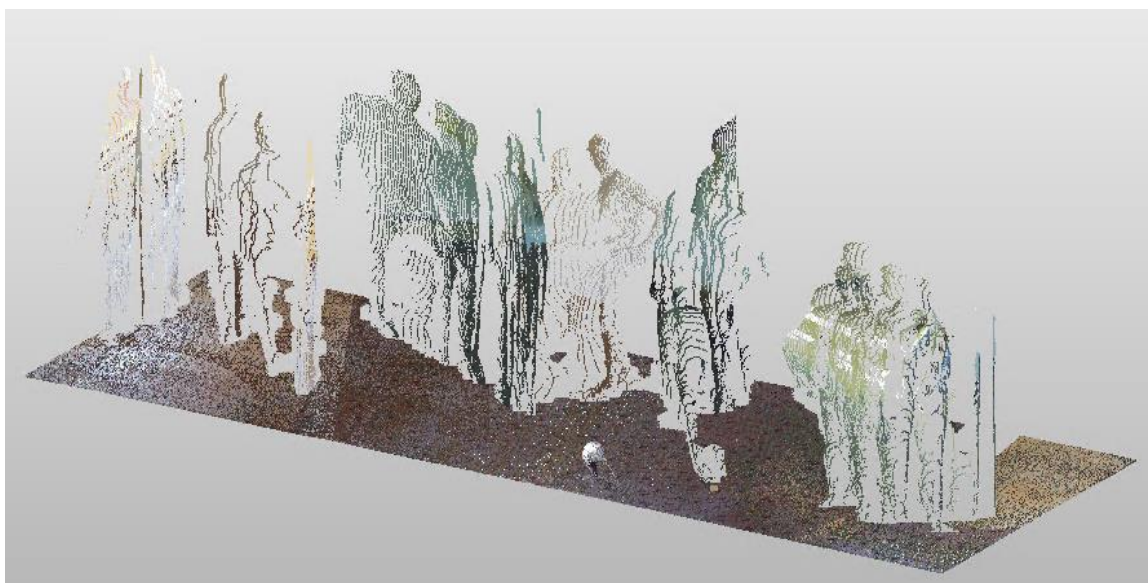
Poté bylo potřeba vymyslet přibližnou konfiguraci skeneru a referenčních koulí tak, aby vždy dva sousední skeny měly alespoň tři koule společné a zbylé dvě byly umístovány dopředu ve směru skenování. Pro umístování koulí existují jistá pravidla, která by nám měla zaručit správné a přesné spojení. Uvádí se, že by koule neměly být z pohledu přístroje v jedné přímce a zároveň by neměly být s přístrojem v jedné rovině. Splnění této podmínky, jakož i splnění toho, aby měly skeny vždy tři koule společné, nemusí být vždy proveditelné. V takových případech je potřeba přístroj umístit tak, aby mohlo být pro spojení využito vlíčovacích bodů, popřípadě využijeme některé jednoznačně identifikovatelné body. Vzhledem k tomu, že se jedná o historickou budovu, nachází se zde na stěnách řada výstupků, které bylo možné využít.



Obr. 12 Rozmístění referenčních koulí

Dalším vhodným krokem před spuštěním skenování je uzpůsobení skenované místnosti. V našem případě se tím myslí například odstranění překážek, které stíní požadované prvky jako třeba rohy místností. Vhodné je také zakrýt přítomná zrcadla. Skener při dopadu paprsku na zrcadlo uloží správný úhel, ale délka se kvůli odrazu uloží i několikanásobně větší a v mračnu se tím pádem budou vyskytovat objekty na chybných místech. Pokud tyto kroky neuděláme, tak to neznamena, že by měření bylo znehodnoceno, pouze budeme nuceni tyto skutečnosti řešit při dalším zpracování.

Po spuštění skeneru je vhodné opustit místnost, aby se v mračnu zbytečně nevyskytovaly částečně naskenované postavy a aby nebylo zkresleno obarvení mračna. Skener dá po ukončení stanoviska zvukový signál. Skenování kanceláří učitelů nebylo kvůli jejich nepřítomnosti možné provést zároveň se zbytkem budovy během letních prázdnin. Bylo tedy prováděno za běžného provozu a na spoustě skenů se tyto zmíněné částečně naskenované postavy nacházejí.



Obr. 13 Naskenované postavy v bodovém mračnu

Postup měření byl z třetího nadzemního patra směrem dolů, ze schodiště bylo vždy odbočeno do vedlejších chodeb a učeben. Zároveň bylo prováděno skenování ze školního dvora přes první podzemní patro až před vstup do školy, kde byla skenována fasáda. Oba směry byly propojeny přes referenční koule v prvním podzemním patře, kde se střetly. Celkem bylo naskenováno 94 stanovisek.

V prvním podzemním patře nám nebylo umožněno postavit přístroj do některých místností. Jedná se o prostory bufetu, půjčovny lyží a jednu z místností pod schody. Tyto místnosti byly tedy z modelu vyloučeny.

6.4.2 Spojování skenů

Pro spojování jednotlivých skenů do souvislého bodového mračna byl vybrán program FARO Scene. Do vytvořeného projektu můžeme načíst skeny ve formátu *.fls, které byly přímo vyexportovány z přístroje. Nachází se zde funkce, které jsou schopny samy vyhledat referenční koule a terče vřícovacích bodů a okamžitě provést napojení,

nicméně tato funkce není stoprocentní a často tyto prvky „přehlédne“. Navíc se v projektu vyskytují skeny, které nemají žádné společné spojovací objekty a je potřeba je napojit na zbytek mračna. K tomu docházelo především proto, že skenování probíhalo v několika dnech a nebylo tedy možné ponechat referenční koule na původních místech. Převážně z těchto důvodů jsem tedy přistoupil k manuálnímu označování.

Označování referenčních koulí, vřícovacích bodů či podrobných bodů pro napojení probíhá v takzvaném *Quick view* zobrazení mračna. Jedná se o zobrazení pouze jednoho skenu z pohledu přístroje a tuto polohu není možné měnit. Zobrazení vychází ze snímků, které byly pořízeny během skenování, a je tedy velmi přehledné a snadno se v něm orientuje. Jednotlivá místa pohledu si můžeme přibližovat pomocí kolečka myši.



Obr. 14 *Quick view* zobrazení

Před samotným označováním referenčních koulí je třeba v nastavení *Match Sphere Settings...* zkontrolovat, zda je správně uveden jejich poloměr. Poté pomocí ikony aktivujeme funkci *Mark sphere*. Při využití této funkce stačí v *Quick view* zobrazení kliknout na kouli a ta se následně sama označí. Po označení se objeví dialogové okno, kde je potřeba vyplnit označení konkrétní koule. Je velice důležité si pamatovat, jak kterou kouli označíme, protože si jejich jména musí ve všech skenech odpovídat. Dále se nám v dialogovém okně zobrazí, kolik podrobných bodů se na kouli nachází a zda je tento počet dostačující k tomu, aby poloha koule byla určena s dostatečnou kvalitou a mohla

být použita. Je zde také uvedena polohová odchylka určení koule, ta by neměla přesáhnout 3 mm.

/Scans/.../Sphere25/SphereFit

Global Coordinates: ☒

Sphere Name: Sphere25

Name: SphereFit

Radius: 0.07 [m]

Position: -597732.617574 -1160071.4 [m]

Number of scan points: 243

Radius deviation: 0 [mm]

Position deviation: 0.761157 [mm]

Scan point distance: 0.584308 [mm]

Scan point drift: -0.08315 [mm]

Sphere GPS Position: ☐

Format: GPS

Position: ???

Height: ??? [m]

Accuracy: ??? [m]

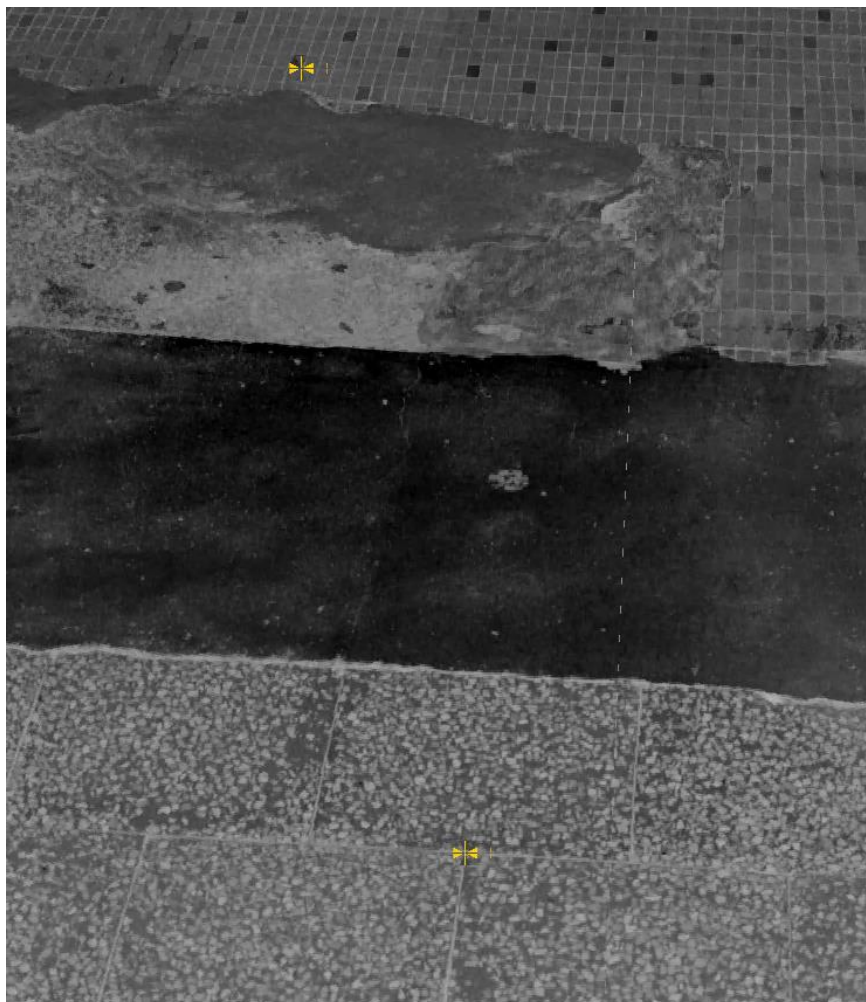
OK Cancel

Obr. 15 Určení referenční koule

Toto poloautomatické označování koulí funguje bezproblémově zhruba do délky 10-12 m od stanoviska. Pokud se ovšem nachází dále, je dost možné, že na ní není zaměřen dostatečný počet podrobných bodů a je nutné provést manuální označení pomocí funkce *Sphere selector*, která umožňuje přímo označit požadovanou množinu bodů a na její základě vytvořit kouli. V případě, že selže i tento postup, je koule zkrátka příliš daleko a není možné ji pro spojení použít.

Obdobným způsobem funguje označování vlíčovacích bodů. Po kliknutí na ikonku aktivujeme funkci *Mark checkerboard target*, které nám po kliknutí do blízkosti středu terče označí vlíčovací bod. Pokud je bod označen mimo střed terče, je nutné provést korekci.

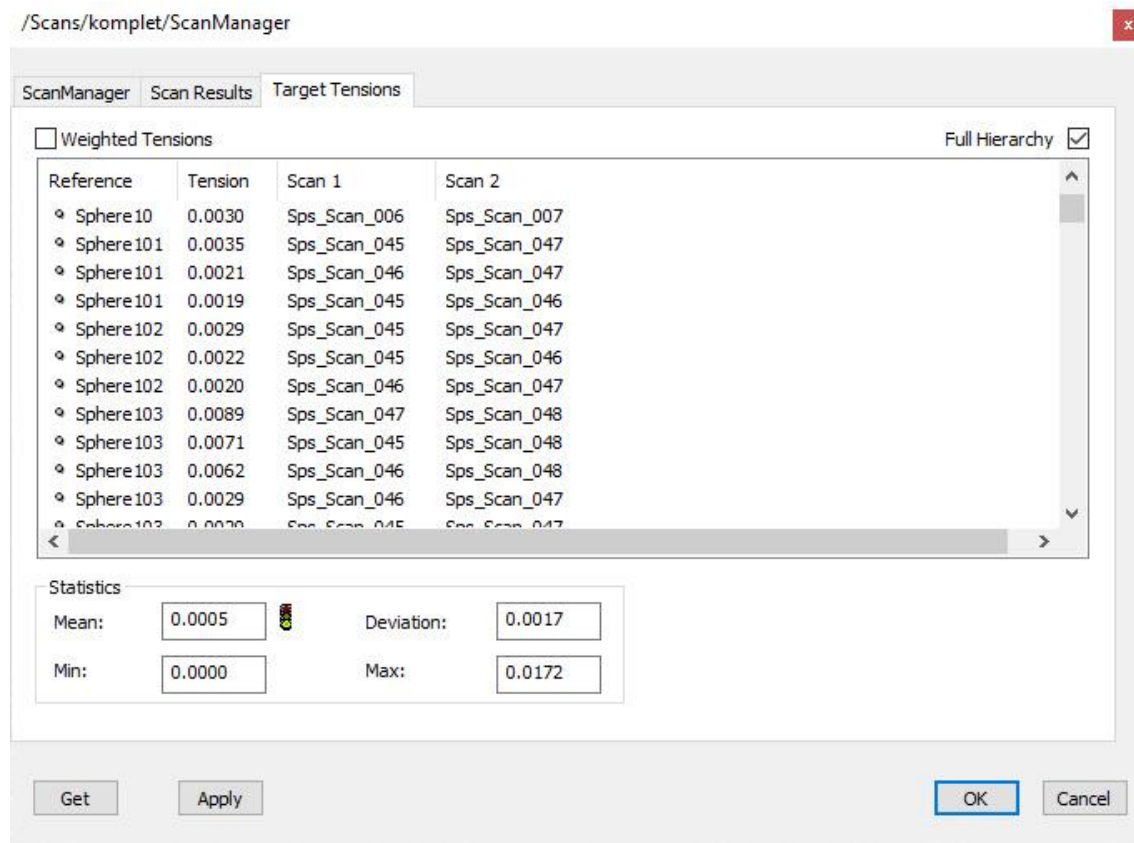
V případě, že máme nedostatek koulí nebo vlíčovacích bodů pro napojení skenů, je nutné využít dobře rozlišitelné podrobné body. Tyto body označujeme pomocí funkce *Mark a scan point*. Jako vhodné body se osvědčily například spáry mezi dlaždičkami nebo ostré rohy na různých objektech.



Obr. 16 Navazovací body

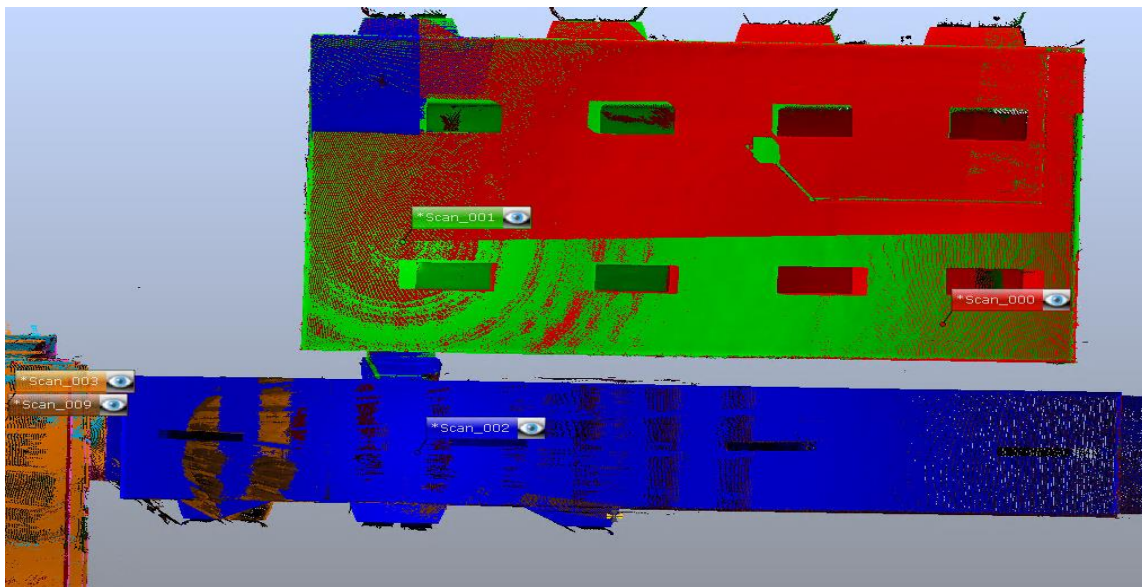
Nebylo spojováno všech 94 skenů na jednu. Nejprve byly rozděleny do několika skupin zhruba po deseti skenech, většinou po jednotlivých podlažích. Bylo prováděno spojování v jednotlivých skupinách a následně byly skupiny spojeny do jednoho velkého souvislého mračna. Kdybychom zadali programu všechny skeny najednou, výpočet by trval velmi dlouho a zároveň by bylo komplikovanější opravovat případné chyby v identifikaci vlíčovacích bodů. Po provedení výpočtu se nám zobrazí odchylky na jednotlivých koulích a bodech. Může se stát, že některá z koulí byla špatně pojmenována, nebo že při označení bodu došlo k ukliknutí. Všechny tyto chyby je potřeba

opravit a provést výpočet znovu. Po spojení všech skenů do výsledného mračna se ukazuje, že největší odchylka se nachází na jedné z koulí a činí 17 mm, což bylo spíše výjimečné a drtivá většina koulí i bodů se pohybovala kolem 5 mm.



Obr. 17 Odchylky na navazovacích bodech

Pro vizuální kontrolu spojení skenů je vhodné zobrazení zvané *Correspondence View*. Jedná se o zobrazení skupiny spojených skenů, ve kterém jsou tyto skeny barevně odlišeny. Nelze v něm tedy zobrazit pouze jeden sken.



Obr. 18 Correspondence View

6.4.3 Transformace do referenčních systémů

Transformace mračna bodů do S-JTSK byla také provedena v programu FARO Scene. Do programového prostředí byl importován seznam souřadnic vlíčovacích bodů ve formátu *.csv. Jelikož vlíčovací body byly označeny v mračnu a správně pojmenovány již během spojování skenů, není třeba provádět žádné další operace a postačí znovu spustit výpočet, stejně jako při spojování. Souřadnice vlíčovacích bodů jsou uvažovány jako pevné a mračno se na ně umístí pomocí prostorové transformace. V tabulce s odchylkami na spojovacích prvcích nám přibudou odchylky na vlíčovacích bodech.

Jako poslední krok v programu Scene využijeme funkci obarvení mračna podle fotek, což nám později usnadní práci při vytváření modelu.



Obr. 19 Obarvené bodové mračno

6.4.4 Tvorba výsledného bodového mračna

Původním záměrem bylo provést export z programu Scene a výslednou editaci provést v CloudCompare, který je k editaci a práci s mračnem navržen. Bohužel mračno bylo natolik velké, že s ním v tomto programu nešlo pracovat. Proto jsem přistoupil k programu Trimble RealWorks, který má obdobné funkce, je ale mnohem lépe optimalizovaný pro práci s takto velkými objemy dat při nám dostupném hardwarovém vybavení.

Do RealWorks byl proveden import mračna ve formátu *.e57, které bylo vyexportováno z programu Scene. Jako první byla využita funkce *Sampling* (vzorkování), která se nachází na kartě *Edit*. K tomu bylo přikročeno kvůli naředění bodového mračna. Při postavení přístroje v blízkosti objektů, hlavně stěn, se body mračna určovaly velmi blízko sobě, často byla vzdálenost mezi vedlejšími body menší než půl milimetru. Vzhledem k tomu, že v takovém postavení byl přístroj ve více než polovině případů, je mračno extrémně husté. Ve funkci *Sampling* byla zvolena možnost *Random sampling*, tedy náhodné vzorkování, což způsobí, že body v mračnu budou rovnoměrně rozmístěny. Před spuštěním se nastavilo, aby bylo ponecháno pouze 30 % bodů. Tím se mračno zredukovalo z více než 2,2 miliardy bodů na necelých 600 milionů, což je pro naše účely dostačující. Vzdálenost mezi jednotlivými body mračna nyní odpovídá asi 5 mm.



Obr. 20 Editované bodové mračno

Dále bylo provedeno ořezání nepotřebných částí mračna pomocí funkce *Segmentation*. Ořezány byly body v okolí budovy, které nejsou předmětem modelování, a body v budově, které zbytečně zabírají místo a znepřehledňují mračno, jako například částečně naskenované postavy. Výsledné mračno bylo vyexportováno do formátu *.rcp, se kterým pracují programy od firmy Autodesk, tedy i námi využívaný Revit.

7 Tvorba 3D modelu

Další kapitola se věnuje samotné tvorbě 3D modelu v programu Revit. Je zde popsán postup od zavedení souřadnicového a výškového systému hned po založení projektu až po modelaci jednotlivých objektů, které se v modelu nachází, na základě bodového mračna exportovaného z programu RealWorks.

7.1 Zavedení souřadnicového systému JTSK do projektu

Zavedení souřadnicového a výškového systému do projektu je bezpochyby jedna z prvních věcí, které je potřeba udělat před zahájením tvorby samotného modelu. Kdybychom tak neučinili, model by nebyl absolutně umístěn v těchto systémech a nebylo by možné z něj získávat souřadnice jednotlivých prvků v S-JTSK. Další nespornou výhodou je snadné navázání možných budoucích projektů či doplnění stávajícího modelu o objekty, jejichž poloha byla získána měřením. Zároveň je nám umožněno připojování různých mapových podkladů a výkresů ve formátech *.DWG nebo *.DNG či bodového mračna, které jsou obvykle také v S-JTSK.

V Revitu se vyskytují tři různé počáteční body projektu. Mezi ně řadíme základní bod projektu, bod zaměření a počáteční pozice.

„Základní bod projektu se používá téměř výhradně pro interní účely. Používá se k umístění rozměrů relativně k budově. Představuje modrý kruh s křížem uprostřed. Může být také použit k nastavení úhlového rozdílu mezi skutečným severem a projektovým severem. Pozice tohoto bodu je jedinečná pro každý model a tato informace není sdílena mezi různými modely.“ [16]

„Bod zaměření slouží k vytvoření systému sdílených souřadnic mezi více propojenými soubory aplikací Revit nebo CAD. To znamená, že jeho umístění je nejužitečnější při exportu a importu souborů dle souřadného systému S-JTSK. Je to počáteční bod, ke kterému jsou vztaženy souřadnice a výškové body. Rozdíl mezi bodem zaměření a hlavním bodem projektu je, že bod zaměření je definován jako bod na pevné zemi, zatímco hlavní bod projektu je vztažen k modelu.“ [16]

„Počáteční pozice je neviditelný bod (až do verze Revitu 2020.2) a nelze jej přesunout. Ve výchozím nastavení bude import nebo export souboru CAD nebo Revit proveden relativně k tomuto tajnému bodu.“ [16]

Jedním z nejčastějších způsobů zavádění souřadnicových systémů je skrze takzvané sdílení souřadnic. To znamená, že budeme přenášet informace z jednoho projektu do druhého s tím, že toto spojení zůstane zachováno. Ke sdílení můžeme využít jakýkoliv CAD soubor, který obsahuje data v námi požadovaném souřadnicovém systému. V našem případě využijeme soubor ve formátu *.dgn s importovanými body z našeho měření.

Postup je následující. Nejprve si zobrazíme Základní bod projektu. Kliknutím na sponu, které se nachází u ikony základního bodu, umožníme jeho přesun. Následně na ikonu klikneme pravým tlačítkem myši a zvolíme *Přesunout do počáteční pozice*, čímž najdeme bod počáteční pozice. Poté je potřeba v nastavení typu kót změnit nastavení *Počátku souřadnic* na *Bod zaměření*.

Do takto připraveného projektu připojíme námi zvolený CAD soubor. Při připojení zvolíme možnost *střed na střed* a zkontrolujeme, zda máme správně nastaveny jednotky, v našem případě metry. Na horní liště vybereme kartu *Správa*, kde zvolíme *Získat souřadnice* a vybereme připojený soubor. Tím jsme do projektu zavedli souřadnicový systém shodný s připojeným souborem. V tento moment je vhodné zkontrolovat na některém bodě projektu, zda souřadnice souhlasí se seznamem souřadnic.

Tímto krokem se změnila poloha Bodu zaměření, bodu, ke kterému se tyto souřadnice vztahují. Je tedy potřeba tento bod přesunout na jeho původní místo a opět jej ztotožnit se Základním bodem projektu.

Nyní se nacházíme v situaci, kdy máme vytvořený projekt v souřadnicovém systému JTSK s připojeným CAD souborem. Dalším krokem je připojení jiného projektu *.rvt, ve kterém budeme vytvářet model. Na kartě *Správa* tentokrát vybereme možnost *Publikovat souřadnice* a označíme nový projekt. Po uložení se nám do něj přenesl požadovaný souřadnicový systém. Po tomto kroku lze připojovat soubory pomocí možnosti *automaticky – podle sdílených souřadnic*. Jinak řečeno, soubory v souřadnicovém systému JTSK se nám budou umisťovat podle souřadnic. [16]

7.2 Zavedení výškového systému Bpv do projektu

Při zavádění výškového systému Bpv vycházíme z výšek podlaží, které jsme si určili technickou nivelací z ČSNS. Výšku podlaží, které si zvolíme jako nulté, nastavíme jako výšku Základního bodu projektu. Ve vlastnostech podlaží můžeme měnit jejich vazbu, a to buď k Základnímu bodu nebo k Bodu zaměření. Pokud zvolíme vazbu k bodu zaměření, výšky podlaží se nám budou zobrazovat v absolutních výškách, tedy v Bpv. Pokud zvolíme vazbu k Základnímu bodu, budou se zobrazovat relativní výšky podlaží vztažené k nultému podlaží. Při vytváření jednotlivých podlaží si tedy můžeme zvolit, jakého způsobu zadávání výšek využijeme.

7.3 Mračna bodů v Revitu


Před zahájením samotného modelování je potřeba do programového prostředí připojit námi připravené mračno bodů ve formátu *.rcp. K tomu využijeme funkci *Mračno bodů* na kartě *Vložit*.

Velikost dat získaných laserovým skenerem je obvykle obrovská (stovky milionů až miliardy bodů), takže model aplikace Revit připojuje mračno bodů jako referenci, nikoli jako vložený soubor. Lze propojit více mračen bodů a lze vytvořit více instancí každého propojení. [17]

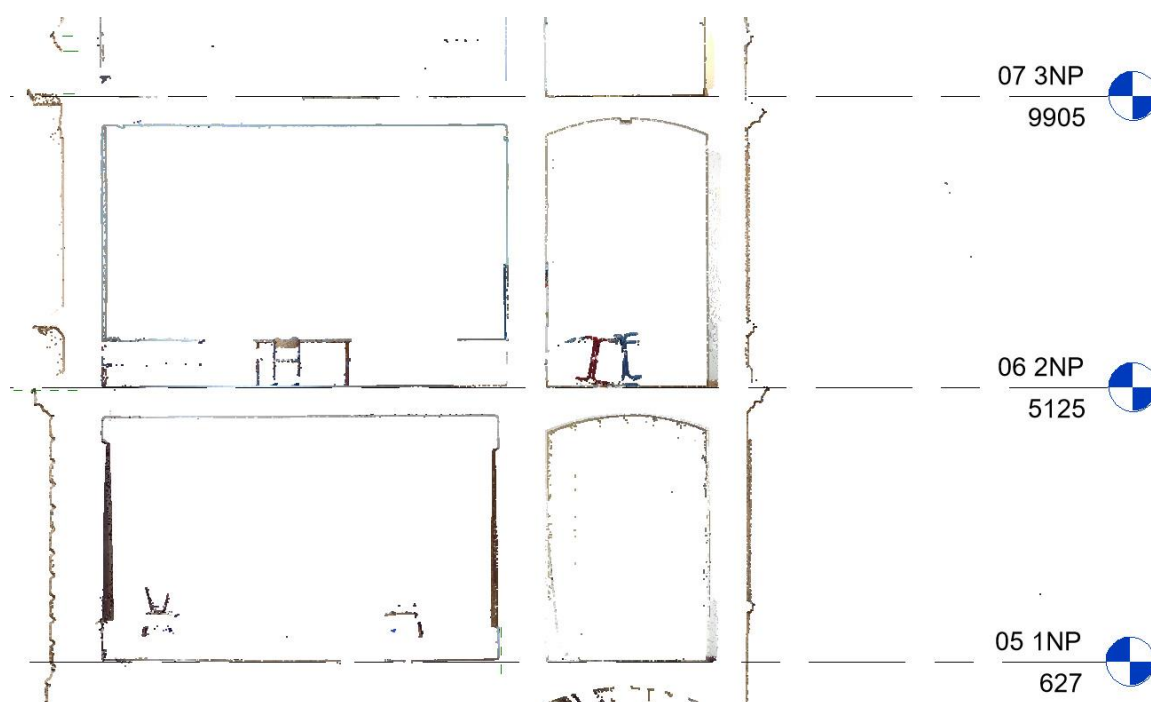
Při vytváření geometrie využíváme funkce snapping, která zjednodušuje vytváření modelů na základě dat mračna bodů. Nástroje pro vytváření nebo úpravy geometrie v aplikaci Revit (například zeď, čára, mřížka, otáčení a pohyb) se mohou přichytávat k implicitním rovinným plochám, které jsou dynamicky detekovány v mračnu bodů, nebo přímo k jednotlivým bodům v mračnu bodů. [17]

Při práci s mračnem se vyskytuje problém v tom, že jím lze snadno posouvat a otáčet. To se často stává i omylem, a ne vždy si toho je člověk vědom. Při vytváření modelu nad takto byť jen drobně posunutým či otočeným mračnem poté vznikají nepřesnosti a různé části nebo objekty modelu jsou oproti zbytku chybně umístěny. Tomu lze zabránit ukotvením mračna v prostoru pomocí funkce *Připnutí* na kartě *Upravit*. Po připnutí objektu, v našem případě mračna, s ním nelze nijak otáčet, pohybovat ani jinak manipulovat.

7.4 Podlaží

Před tvorbou stavebních konstrukcí je nutné vytvořit jednotlivá podlaží. Ty vytváříme pomocí ikony  na kartě *Architektura*. Nakreslením vodorovné čáry poté umístíme podlaží. Jejich výšky pak můžeme jednoduše upravovat změnou popisu výšky.

Při zavádění výškového systému jsme si určili nulté podlaží, k němuž se budou vztahovat relativní výšky ostatních. Při tvorbě podlaží, jejichž výšky byly určeny nivelací, je vhodné si nastavit vazbu k Bodu zaměření, čím docílíme toho, že se jejich výšky budou zobrazovat v absolutních výškách a při tvorbě můžeme tedy zadávat přímo výšky určené nivelací. Pro další práce je však vhodné volit zobrazení relativních výšek. Zbýlé podlaží vytvoříme ve svislých řezech mračnem bodů.

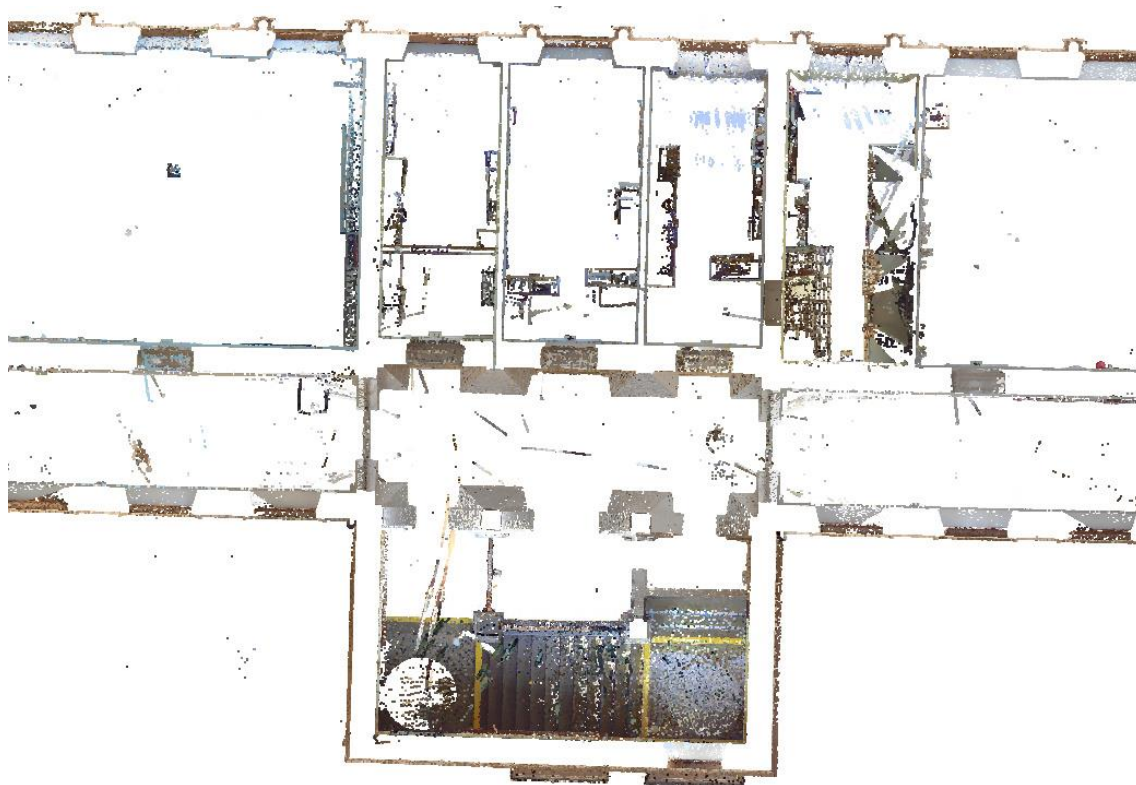


Obr. 21 Podlaží v programu Revit


7.5 Stavební konstrukce

7.5.1 Stěny

V zobrazení podlaží si nastavíme rozsah zobrazení na takové výškové rozpětí, aby byla jasně zřetelná šířka zdi a její průběh. Ze získaných zkušeností mohu říci, že ideální nastavení se pohybuje někde v rozmezí 0,5 m a 2,0 m. Při takovém nastavení se nám nezobrazí body na podlaze, což umožňuje jasně rozeznat linie stěn. Zároveň je také rozsah dost velký, aby se nám zobrazily body na stěně v místech, kde jsou umístěny například stoly, lavice či jiný nábytek. Univerzální nastavení nicméně neexistuje a pro co největší efektivitu je potřeba jej přizpůsobit konkrétním místnostem nebo prostoru, který momentálně zpracováváme.




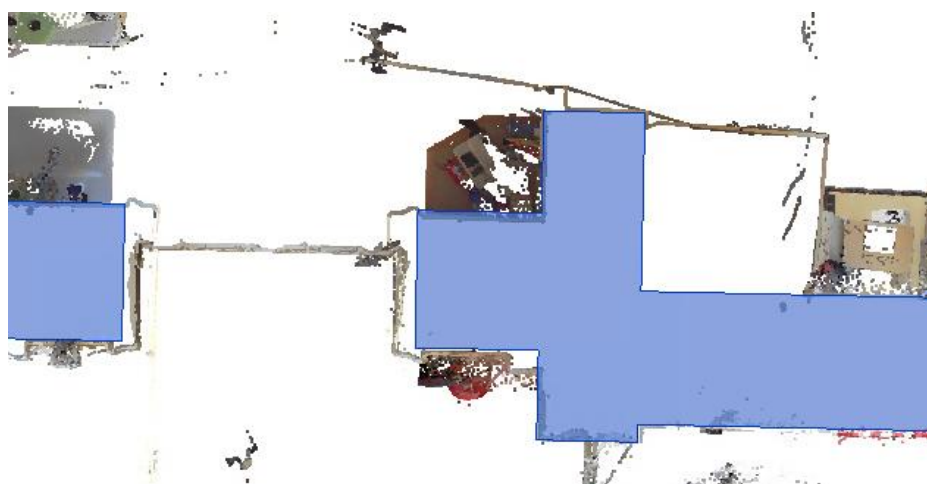
Obr. 22 Vodorovný řez mračnem

Jakmile je přizpůsobeno nastavení, je potřeba zjistit tloušťku stěn. K tomu využijeme funkci *Měření mezi dvěma referencemi*  na kartě *Upravit*. Tato funkce nám pomocí automatického přichytávání umožní změřit kolmou vzdálenost mezi naskenovanými stěnami. Pokud je známa šířka, je potřeba vytvořit konkrétní typ stěny.

Funkci pro vytváření stěn nalezneme na kartě *Architektura*. Nejsnazší způsob, jak toho docílit, je „duplikovat“ některé ze stávajících stěn a následně je upravit. Při úpravě obvykle řešíme především skladbu stěny. Jelikož však nejsou dostupné žádné informace o skladbě stěn, byla všude použita cihlová stěna o námi zjištěné šířce. Po výběru konstrukčního materiálu byla přidána vrstva omítky, přičemž její barva a textura byla volena na základě fotografií získaným laserovým skenerem během sběru dat.

Stěny se do modelu kreslí v půdorysném pohledu. Před umístěním si ve vlastnostech stěny lze navolit dolní a horní vazbu, tedy od kterého do kterého podlaží stěna sahá. Je zde taky možnost nepřipojovat stěny k podlažím vůbec a pouze si zvolit její výšku. Ve stejném okně si nastavíme způsob umístění, buď kreslíme vnější plochu stěny, vnitřní anebo osu. Samotné kreslení pak probíhá pomocí již zmíněné funkce snapping velmi plynule.

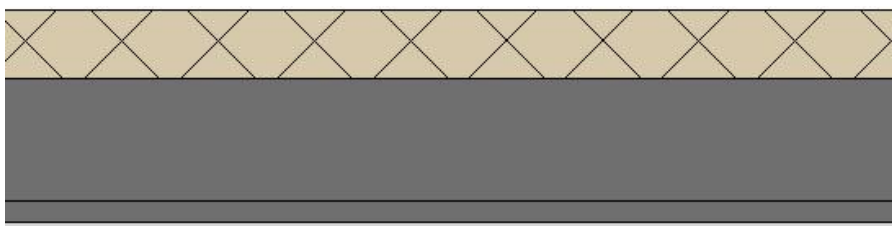
Jako další stojí za zmínku napojování jednotlivých stěn. V námi zpracovávaných místech se vyskytují velmi složité spoje stěn. Nezřídka se vyskytují případy, kde se stýkají čtyři stěny o různých šířkách a ani jeden z úhlů jejich styku není pravý. Za tímto účelem se v Revitu nachází funkce *Spoje stěn* , která nám nabízí možnosti napojení, z nichž si lze vybírat. Ani tato funkce však nedokáže vyřešit vše a některé napojení jsou nad její možnosti. V těchto případech bylo nutné přidat další menší stěnu, která tuto situaci většinou vyřešila. Obecně lze říct, že modelování těchto historických a často velmi složitých částí budov je velmi obtížné, což je způsobeno nejspíše tím, že Revit není primárně určen k těmto účelům.



Obr. 23 Problematický spoj stěn


7.5.2 Podlahy

Dalším krokem při tvorbě modelu bylo vytvoření podlah. Ty se v Revitu vytváří v půdorysných pohledech. Po spuštění funkce tvorby *Podlahy* v kartě *Architektura* se načrtnou hranice podlahy podle již umístěných stěn. Nejprve byly umístěny podlahy, které pokrývají souvisle jednotlivá podlaží. Jelikož se podlaha umístí svojí vrchní stranou do výšky podlaží, bylo jim nastaveno záporné odsazení. Tím bylo umožněno do jednotlivých místností domodelovat dokončovací podlahy z konkrétních materiálů a o potřebné tloušťce.



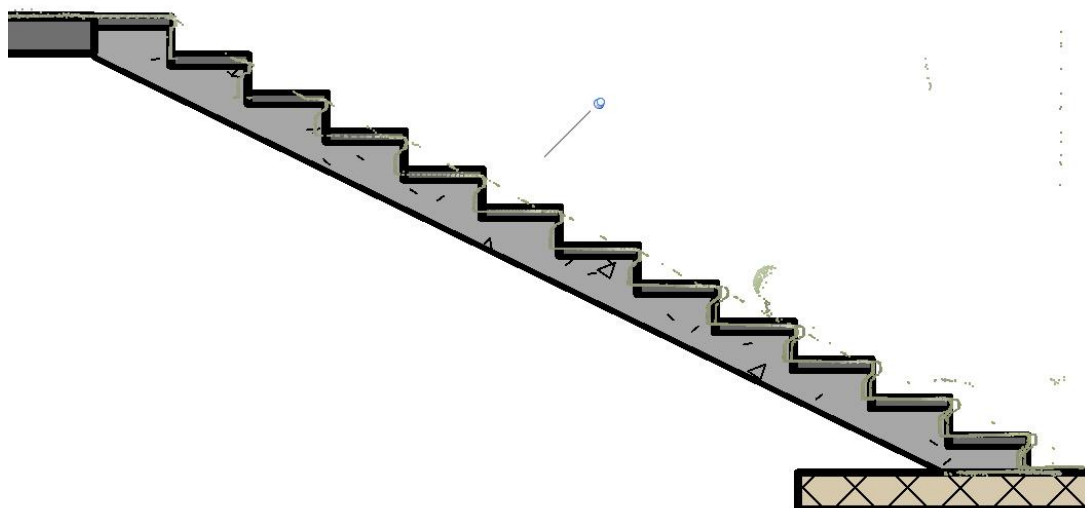
Obr. 24 Skladba podlahy

7.5.3 Schodiště

Schodiště v budově bych rozdělil podle způsobu jejich modelace na tři typy. Hned po vstupu do budovy se ve vstupní hale nachází velké schodiště s balustrádou po obou krajích a dalšími dvěma menšími schodišti po stranách vedoucí do suterénu. Za další typ je možné označil ústřední schodiště vedoucí ze suterénu až do třetího nadzemního podlaží, které se skládá z několika podestí a ramen a nachází se na něm ozdobné kovové zábradlí. Jako poslední typ zde máme několik menších schodišť o několika málo stupních, které mají z obou stran stěnu. Schodiště se umísťují pomocí funkce *Schodiště*  na kartě *Architektura*. Zde můžeme volit, jestli chceme umísťovat rameno, podestě nebo podpěru.

Pro hlavní schodiště ve vstupní hale bylo zvoleno betonové monolitické schodiště s žulovými stupnicemi. Aby takto atypické schodiště odpovídalo co nejvíce realitě, bylo rameno umísťováno pomocí kreslení náčrtu. To spočívá v tom, že v půdorysu načrtneme podle mračna jeho hranice, podstupnice a směr trajektorie schodiště. Poté se ve vlastnostech schodiště nastaví počet podstupnic, následně se vše potvrdí a zkontroluje v řezu, zda vše sedí. Aby bylo schodiště kompletní, je ještě potřeba dodělat balustrádu, což je atypické ozdobné zábradlí skládající se z nízkých sloupků. K tomu nejprve vytvoříme model sloupku a profil madla. Obojímu se ještě budeme dále věnovat

v kapitole o tvorbě takzvaných externích rovin objektů. Balustráda je typ zábradlí a budeme ji tedy umisťovat pomocí funkce *Zábradlí – umístit na schodiště* na kartě *Architektura*. Zvolí se možnost umístit zábradlí na podstupnice a klikneme na schodiště. Tímto krokem se nám na schodiště umístí některé ze základních zábradlí, které je potřeba dále duplikovat a upravit. Ve stavbě zábradlí se změnil model sloupku a u horního madla je třeba vybrat námi vytvořený profil. Ve vlastnostech je možné měnit řadu dalších parametrů, jako je výpočet rozměrů a přesahů stupnic a podstupnic, jejich profily, materiály a další.



Obr. 25 Řez schodištěm

Před tvorbou samotného schodiště byly vytvořeny podesty. Pro každou podestu byla vytvořena zvláštní výšková úroveň podlaží. Jednotlivá ramena byla vytvářena vždy mezi podestou a podlažím, popřípadě mezi dvěma podestami. Typ schodiště byl použit stejný jako v předchozím případě a stejně tak i metoda jeho umístění. Součástí schodiště jsou v tomto případě i schodnice, které se nachází vždy na straně schodiště dále od stěny. Jejich umístění i rozměry bylo třeba upravit podle řezu mračnem. Na schodnicích je umístěno okrasné kovové zábradlí s dřevěným horním madlem. Segmenty zábradlí jsou přerušovány sloupy a pokračují i přes jednotlivá podlaží.

Jako poslední a nejjednodušší typ se zde vyskytují schody o několika málo stupních z obou stran přímo připojené ke stěnám. Opět bylo použito betonové monolitické schodiště s žulovými stupnicemi a pro jejich vytvoření bylo opět využito manuální metody skrze tvorbu náčrtu. Obecně platí, že po dokončení všech schodišť je třeba provést vizuální kontrolu jak v řezech, tak i ve 3D zobrazení.



Obr. 27 Schodiště ve vstupní hala



Obr. 26 Schodiště v 3NP

7.5.4 Střecha

O střechě máme v tomto případě jen velmi málo informací. Laserový skener není schopen ze země střechu zaměřit, takže jediné údaje, které o ní máme, jsou zaměřené body na jejím hřebenu. Nebudeme tedy umisťovat žádné střešní konstrukce, ale pouze střešní plášť.

Střechy se umisťují v půdorysném pohledu. Za tímto účelem bylo vytvořeno podlaží 4NP. Jelikož máme zaměřen pouze strop na 3NP, byla jeho výška odhadnuta jako výška stropu 3NP plus průměrná tloušťka skladby stropu, která byla na všech patrech přibližně stejná. V půdorysu se označí vnější strany stěn jako hranice plochy střechy a zvolí se, které strany mají mít sklon a jeho hodnota. Po potvrzení by se měla

vymodelovat námi požadovaná střecha. V případě, že se hřeben střechy nenachází ve výšce zjištěné terestrickým měřením, upravíme ve vlastnostech její parametry.

7.6 Tvorba Rodin objektů

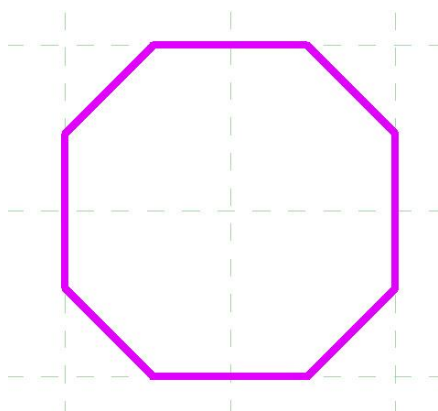
Abychom mohli do modelu umisťovat objekty, jako jsou okna, dveře nebo i různé sloupy, musíme je nejdříve do projektu načíst ve formátu *.rfa. V tomto formátu jsou vytvářeny takzvané externí rodiny objektů. Tvorba těchto rodin zabrala asi polovinu času práce na celém projektu.

Základní funkce pro modelování jakýchkoliv prvků rodin najdeme na kartě *Vytvořit – Tvary*. Zde se nachází šest možností tvorby objektů, které jsou pro další práce naprosto zásadní a které si nyní popíšeme.

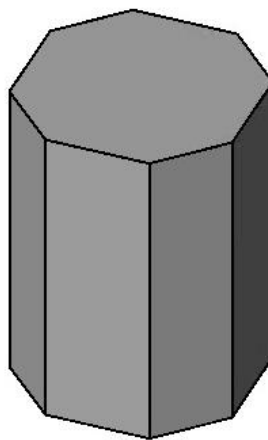


Nejjednodušší formou je vytvoření objemového Vysunutí. Načrtne se 2D profil tvaru na pracovní rovině a poté tento profil vysunete kolmo na rovinu, do které jste jej načrtli. Před vysunutím tvaru můžete určit jeho počáteční a koncový bod pro zvětšení nebo zmenšení hloubky. Ve výchozím nastavení je počáteční bod vysunutí 0. Pracovní rovina nemusí být počátečním ani koncovým bodem vysunutí – použije se pouze ke skicování a nastavení směru vysunutí. [18]

Po kliknutí na ikonu *Vysunutí* se zvolí pracovní rovina a pomocí nástrojů pro skicování se načrtne profil. Chceme-li vytvořit jedno objemové vysunutí, nakreslí se uzavřená smyčka. Chceme-li vytvořit více než jedno vysunutí, načrtne se více neprotínajících se uzavřených smyček. Pokud je načrtnutý profil, můžeme kliknout na *Použít*. Aplikace Revit dokončí vysunutí a vrátí se do zobrazení, ve kterém bylo vysunutí započato. Na paletě *Vlastnosti* můžeme nyní měnit vlastnosti vysunutí jako například jeho hloubku, viditelnost nebo materiál. Po dokončení je vhodné provést kontrolu ve 3D pohledu. Pokud nějakou chybu objevíme, lze ji snadno opravit kliknutím na objekt a na ikonu *Upravit vysunutí* na kartě *Upravit*. [18]



Obr. 29 Profil vysunutí

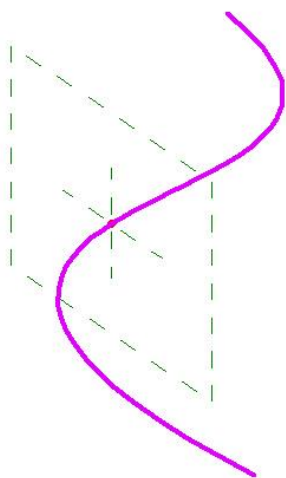


Obr. 28 Vysunutí

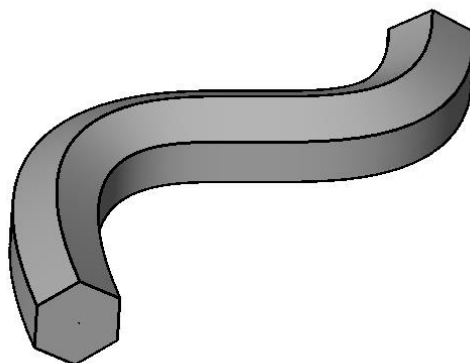
Druhou nejvíce využívanou funkcí je Tažení. To slouží k vytvoření objektu „tažením“ 2D profilu podél trajektorie. Následující popis je obecná metoda pro vytvoření Tažení. Kroky se mohou lišit v závislosti na záměru návrhu.

Po kliknutí na ikonu *Tažení* je stejně jako u *Vysunutí* nutné zvolit pracovní rovinu, v níž se bude nacházet trajektorie. Tu můžeme vytvořit dvěma způsoby, buďto ji přímo načrtneme, nebo vybereme některou již existující hranu. Pokud zvolíme první způsob, trajektorie se bude nacházet pouze v jedné, na začátku zvolené rovině, a může být buď uzavřená nebo otevřená, nesmí se však skládat z více otevřených trajektorií. Chceme-li vybrat hrany existující geometrie pro segmenty trasy, klikneme na *Vybrat 3D hrany*. Tato metoda výběru automaticky uzamkne čáry náčrtu na geometrii, kterou vybíráme, a umožní načrtnout trasu ve více pracovních rovinách, což umožní 3D trajektorii. Pokud je zvolena trajektorie, kliknutím na *Dokončit režim úprav* se potvrdí. [19]

Dalším krokem je zvolení profilu, který bude podél trajektorie „tažen“. Ten můžeme buď načíst jako soubor *.rfa, který jsme si již dříve připravili, nebo ho načrtnout přímo na místě. Skica profilu může být jednoduchá uzavřená smyčka nebo více uzavřených smyček, které se neprotínají. Pokud máme zvolenou trajektorii i profil, můžeme celé Tažení potvrdit a výsledný objekt opět zkontrolovat ve 3D pohledu. Měnit vlastnosti Tažení, případně jej upravovat, můžeme stejně jako u dříve popsaného Vysunutí. [19]

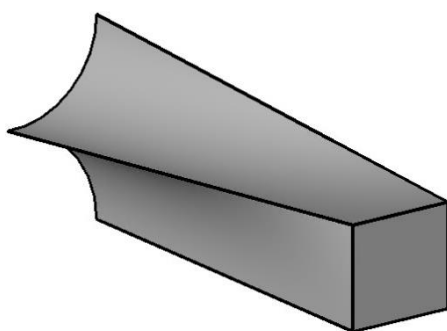


Obr. 30 Trajektorie tažení

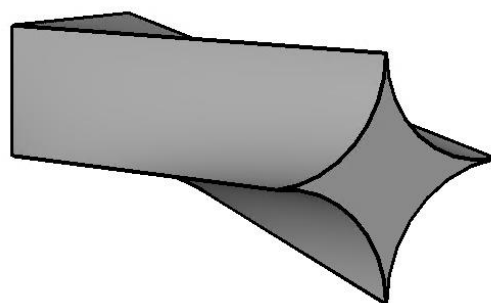


Obr. 31 Tažení

Tři následující metody tvorby objektů byly využity převážně při tvorbě sloupů a designových prvků na nich. První z nich je Přechod. Ten vytvoří plný 3D tvar, který se mění podél své délky, přičemž přechází z původního do koncového tvaru. Tento nástroj zajistí vzájemný přechod obou profilů. Pokud například načrtnu šestiúhelník a nad ním kružnici, vytvoří se objekt, který zajistí vzájemný přechod obou náčrtů.



Obr. 32 Přechod - původní profil

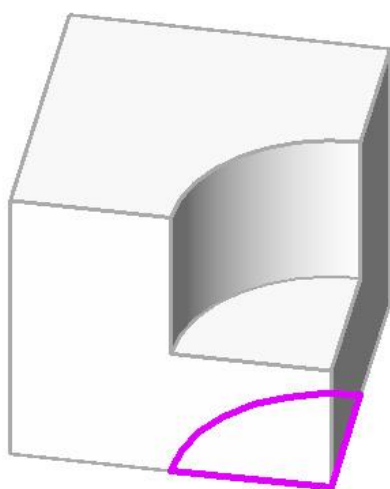


Obr. 33 Přechod - konečný profil

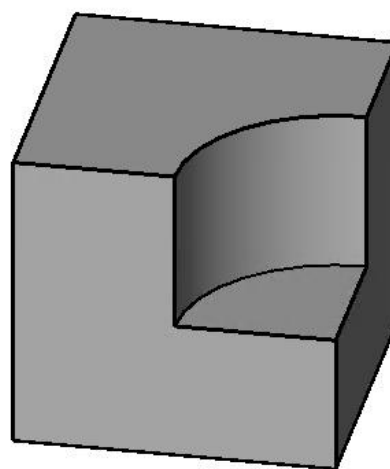
Dalším nástrojem je Přechod tažením. Ten, jak už značí název, je jakousi kombinací Přechodu a Tažení. Vytváříme zde přechod, který se táhne podél stanovené trajektorie. Jeho tvar je určen počátečním a koncovým tvarem a 2D trajektorií.

Jako poslední si uvedeme Rotaci. Ta najde své využití hlavně u sloupů s kruhovým půdorysem. Tato funkce nám umožní vytvoření 3D objektu otočením 2D profilu okolo vybrané osy.

Revit nám nabízí také možnost vytváření takzvaných dutých tvarů. Ty slouží pro odstranění hmoty, která se uvnitř tohoto tvaru nachází. Funkci pro jejich vytváření můžeme spustit pomocí ikony *Duté tvary*, kterou nalezneme na kartě *Vytvořit*. Metody jejich vytváření odpovídají pěti výše popsaným metodám tvorby objektů.



Obr. 34 Dutý tvar - profil



Obr. 35 Dutý tvar

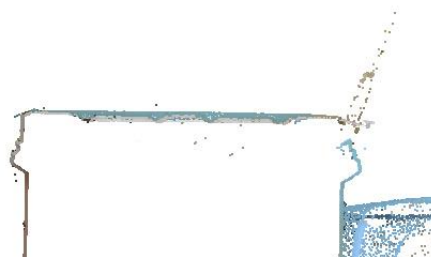
7.6.1 Okna a dveře

Způsob vytváření rodin oken a dveří je velmi podobný. Při založení souboru *.rfa je nám nabídnuta řada šablon pro různé typy objektů. Na výběr jsou například šablony okno, dveře, sloup, ale i různé šablony osvětlení nebo elektronického příslušenství.

Nejprve si popíšeme tvorbu dveří. Po otevření modelu se šablonou se spustí půdorysný pohled, kde můžeme vidět stěnu s již připraveným otvorem na dveře a základním rámem dveří. Jako první byl odmazán rám dveří. Většina dveří v budově je hodně stará a atypická, proto je mnohem snazší vytvořit rám nový, než upravovat stávající. Následně se změní hodnoty parametrů otvoru, které jsou v šabloně také již připraveny. Hodnoty těchto parametrů, tedy výšku a šířku dveří, nejlépe zjistíme ve svislém řezu mračnem. Je také vhodné změnit šířku stěny, aby alespoň přibližně odpovídala šířce stěn, do kterých mají být dveře či okna umístěny.



Obr. 36 Svislý řez mračnem - dveře



Obr. 37 Vodorovný řez mračnem - dveře

Ted' když máme vše připraveno, můžeme se pustit do modelování jednotlivých částí dveří. Nejprve je na řadě již zmíněný rám. Jeho tvar nejlépe zjistíme v půdorysném řezu mračnem. Je potřeba si v nastavení rozsahu zobrazení zvolit takový interval, aby byl tvar jasně rozpoznatelný. Tím je myšleno ze zobrazení vyloučit body podlahy a body nad horní částí rámu. Nyní máme dvě možnosti, jak rám vytvořit. Jsou jimi funkce Tažení a Vysunutí. Tažení použijeme v případě, kdy je rám na celém obvodu dveří stejný, tedy i v horní části. Jako trajektorii označíme hranu otvoru dveří a podle mračna nakreslíme profil rámu, který bude podél trajektorie tažen. V případě, že se strany rámu ve svém tvaru liší, je nutné přistoupit k modelaci pomocí Vysunutí. Toho využijeme také při modelaci samotných dveří. Nakonec je dveřím přidána klika. Ty nebyly z časových důvodů modelovány speciálně pro každý typ dveří, ale byla využita jednoduchá klika

ze základní knihovny rodn, kterou máme k dispozici. Aby se dveře v modelu zobrazovaly se správnou barvou a texturou, je nutné jednotlivým modelovaným prvkům nastavit ve vlastnostech parametr Materiál. Vybíráno bylo opět ze základní knihovny materiálů, která je v programu k dispozici.

Dveře stejně jako okna umísťujeme v modelu do zdí bez předchozí úpravy. Zdi v tomto případě fungují jako takzvaný hostitelský prvek. Obojí umísťujeme v půdorysném pohledu. Většinou je však nutné pracovat i s bočním pohledem, ve kterém provádíme korekci umístění tak, aby co nejvíce odpovídalo realitě, v našem případě bodovému mračnu. Následně vše zkontrolujeme ve 3D pohledu.

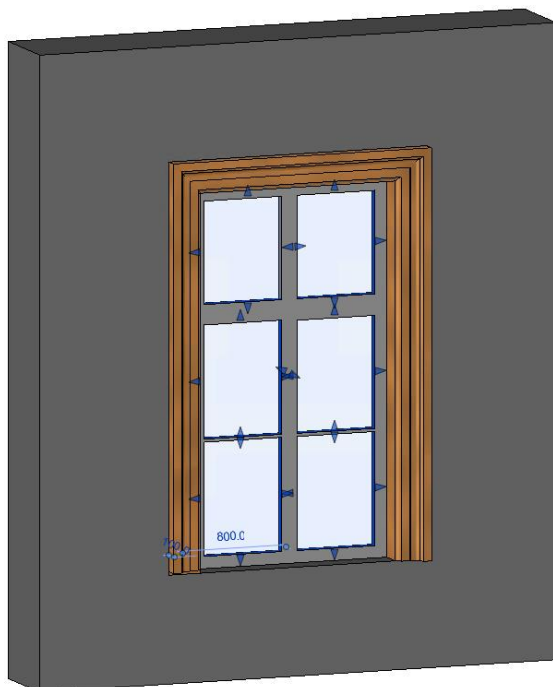


Obr. 38 Dveře umístěné v modelu

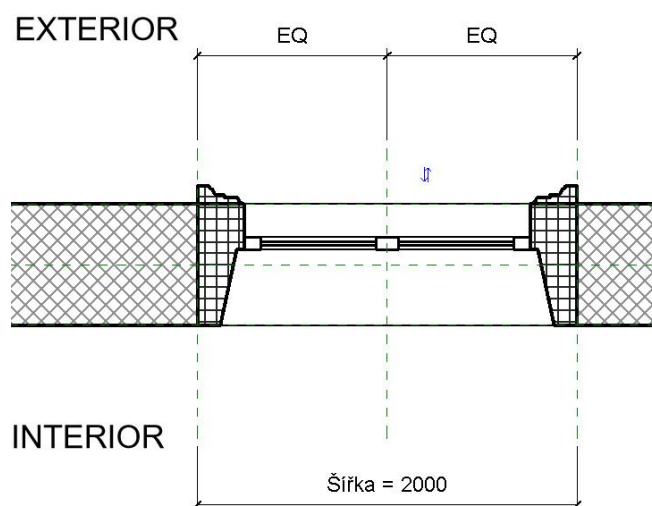
Při otevření šablony pro modelaci okna zjistíme, že se jedná pouze o stěnu s předpřipraveným otvorem. Nejprve upravíme parametry. Výšku a šířku otvoru pro okno, stejně jako výšku parapetu, získáme z řezu bodovým mračnem. Často se v budově vyskytují okna, jejichž otvor v interiéru a exteriéru nemá stejné rozměry. V takovém případě byly parametry nastaveny dle většího z nich a šikmé ostění bylo realizováno pomocí Tažení nebo Vysunutí.

Po úpravě otvoru byl pomocí Vysunutí vytvořen rám okna. To probíhá v pohledu Interiér nebo Exteriér. Celý rám je vytvořen jako jeden objekt s otvory, do kterých jsou

následně, také Vysunutím, domodelovány tabulky skla. Všechny rozměry byly opět získány ve svislém řezu mračnem. V půdorysném pohledu je poté upravena poloha rámu i skla vůči vnitřní i vnější ploše stěny.



Obr. 39 Externí rodina dveří



Obr. 40 Rodina dveří - půdorysný pohled

Tím, že jsou všechna okna součástí historické fasády, bylo nutné u nich modelovat také šambrány, což jsou ozdobné prvky rámuující okna na fasádách. Ty se svou složitostí značně lišily. Na fasádě do školního dvora se vyskytovalo většinou jednoduché orámování, na druhou stranu na fasádě směrem do náměstí 28. října se k orámování přidaly nejrůznější sloupky, podokenní římsy, frontony a podobně.

Co se týče šambrán, jejich modelování je ze zmíněných prvků nejrychlejší. Vytváří se pomocí Tažení. Jako trajektorii zvolíme hranu okenního otvoru a profil pro tažení získáme z vodorovného řezu mračnem.

Dalším častým prvkem jsou podokenní římsy. Ty jsou vytvářeny jako oddělená rodina a následně jsou načteny do rodiny modelovaného okna a dle potřeby umístěny. Pro jejich tvorbu byla využita šablona pro obecný model, která v základu obsahuje pouze osový kříž. Model je většinou vytvářen kombinací Tažení a Vysunutí na základě dat získaných řezu mračnem. Stejným způsobem jsou vytvářeny také frontony nad okny.

Po doplnění rodiny okna o zbylé objekty a přiřazení materiálů k jednotlivým prvkům ji můžeme nahrát do projektu. Okna umísťujeme stejně jako dveře v půdorysném pohledu do zdí jako hostitelských prvků. Následně je však potřeba vše pečlivě zkontrolovat v řezech a 3D pohledu a umístění korigovat. Tím, že je každé okno svým způsobem originál, je i umístění a výška parapetu mírně odlišná.

V celém modelu se nachází asi šest typů oken, které musely být zvlášť modelovány. Vyskytují se zde však i typy, které si jsou dosti podobné, v takovém případě bylo možné prvky duplikovat a pouze upravit parametry.



Obr. 42 Okno na průčelí



Obr. 41 Okno do školního dvora

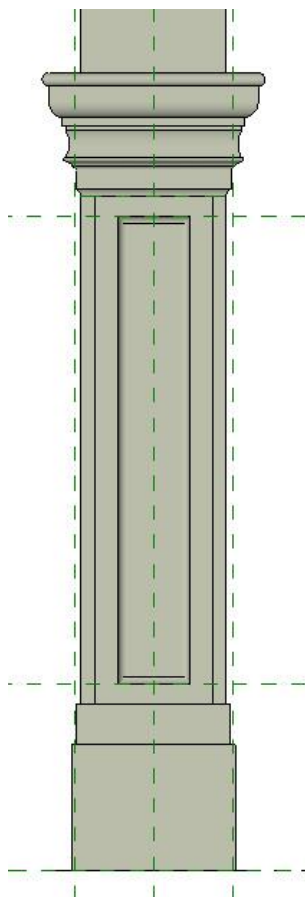
7.6.2 Sloupy

Další velkou skupinou externích rodin, které bylo potřeba vytvořit, jsou sloupy. Celkově se ve zpracovávané části budovy nachází až sedm typů sloupů, které bylo potřeba vymodelovat.

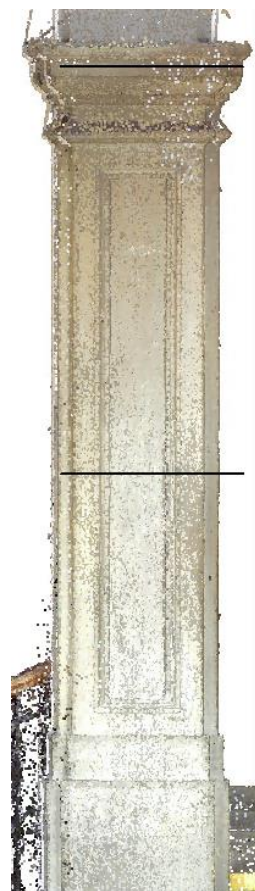
Nejprve byly modelovány sloupy nesoucí hlavní schodiště. Po otevření šablony pro tvorbu sloupů si můžeme všimnout osového kříže a dalších čtyř referenčních rovin, které

nám určují dva parametry sloupu, šířku a hloubku. Referenční roviny se po zakreslení zobrazí jako čárkovaná linie, v projektu slouží jako vodítka. Pokud nakreslíme referenční rovinu v jednom půdorysném pohledu, automaticky se nám bude zobrazovat i ve všech ostatních.

Samotný sloup modelujeme skládáním objektů, které tvoříme pomocí nástrojů popsaných v předchozí kapitole, na sebe. Za tímto účelem si nejprve pomyslně rozdělíme sloup na jednotlivé bloky. Rozměry a tvary těchto bloků si určíme pomocí svislých i vodorovných řezů mračnem.



Obr. 43 Externí rodina - sloup



Obr. 44 Sloup v bodovém mračnu

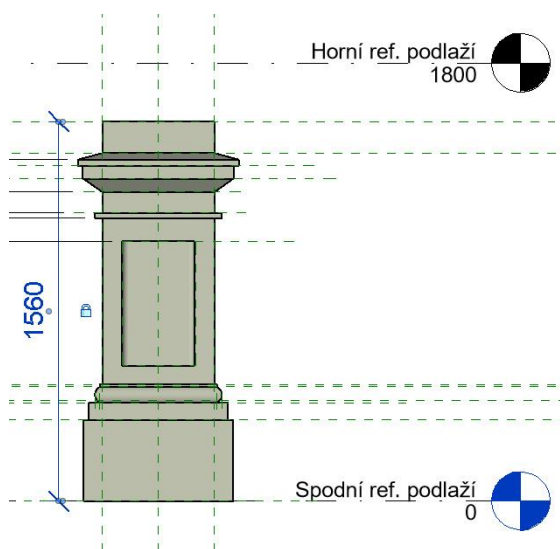
Jakmile je takový sloup poskládaný, musí se vytvořit takzvané vazby, které nám zaručí, že se sloup do modelu umístí tak, jak má. Vytváření vazeb je v tomto případě velmi důležité a každá chyba se nám na výsledku projeví. Většinou propadnutím či protažením některého z bloků do jiného podlaží a podobně.

Vytvoření vazby nám Revit nabídne vždy při zarovnání stěn jednotlivých bloků. Nabídka se projeví zobrazením ikonky zámku v blízkosti zarovnaných stěn. Pokud na ni klikneme, zámek se zamkne a vytvoří se vazba. Tím se stěny objektů na pevně spojí. Pokud se nám vytvoření vazby nenabídne automaticky nebo chceme vazbu vytvořit později, dá se využít funkce *Zarovnat*, která se nachází na kartě *Upravit* a původně slouží k zarovnávání prvků. Takto k sobě spojíme všechny sousední části sloupu.

Pokud si spustíme některý z bočních pohledů, uvidíme, že šablona v základu obsahuje dvě referenční podlaží, Spodní a Horní. Spodní referenční podlaží reprezentuje podlaží v hlavním projektu, na které bude sloup umístěn. Horní zase podlaží, po které má sloup sahat. Nejvyšší a nejnižší blok sloupu tedy pomocí vazby připojíme k těmto podlažím.

Dalším požadavkem je, aby se střední nejdelší část sloupu přizpůsobovala výšce podlaží a zbylé bloky si pevně držely své rozměry. Toho docílíme okótováním bloků, které mají zůstat stejné, a následným uzamknutím těchto kót, čímž zabráníme jakémukoliv automatickému přizpůsobení při umístění sloupu. Kóty umístíme pomocí funkcí *Kóta* na kartě *Poznámky*.

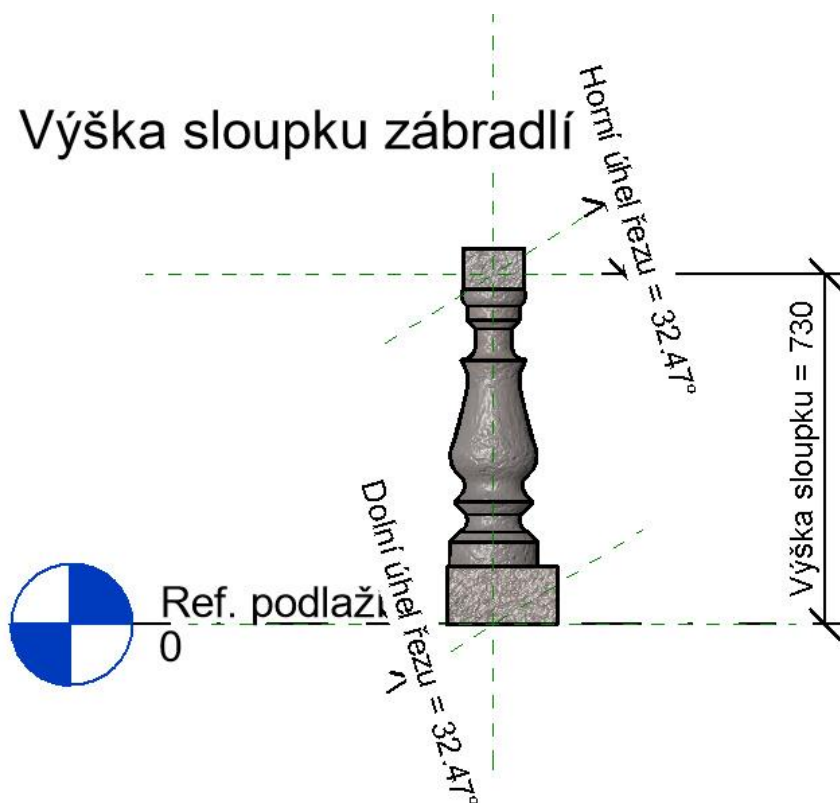
V budově se vyskytuje taky několik menších sloupů, které slouží jako součást zábradlí a balustrády. Ty vytváříme úplně stejně jako v předchozím případě. Jediný rozdíl je v nepřipojení horní části sloupu k hornímu referenčnímu podlaží, ale vytvoření uzamčené kóty. Tím se ze sloupu stane objekt o neměnných rozměrech.



Obr. 45 Externí rodina - sloup zábradlí

Sloupy umísťujeme do modelu v pôdorysném pohľade. Následně ve vlastnostech zkontrolujeme a případně opravíme horní a dolní připojení k podlažím a provedeme vizuální kontroly v řezech a ve 3D pohľadu.

Speciálním případem tvorby sloupku bylo pak modelování balustrády, která se nachází na schodišti u vstupu do budovy. K tomu byla využita šablona nazvaná *Sloupek zábradlí*. Rozdíl oproti obecné šabloně pro sloupy je ten, že tento model lze připojit jako součást zábradlí. Jeho tvorba probíhá obdobně jako v předchozích případech. Tento konkrétní byl vytvořen pomocí funkce Rotace. Po umístění zábradlí do modelu mu byl tedy ve vlastnostech nastaven námi vytvořený sloupek a profil madla. Následně byly balustrádě donastaveny některé parametry, aby co nejvíce odpovídala realitě.



Obr. 46 Externí rodina - sloupek balustrády

7.7 Designové prvky na stěnách

Jako už bylo několikrát zmíněno, jedná se o historickou budovu. Z toho plyne i velké množství nejrozličnějších okrasných prvků jak venkovních fasád, tak i vnitřních prostor. Fasády byly modelovány co možná nejpřesněji. Velká část těchto designových prvků se nachází v okolí oken a má na ně přímou návaznost, takže byly tvořeny jako součásti rodin oken. Zbylé prvky, jako nejrozličnější římsy či fasádní nuty, musely být modelovány zvlášť. Zvláštním případem je potom vstupní portál, který byl modelován zvlášť a do modelu poté přidán. Co se týče vnitřních prostor, byly tyto prvky pro ukázkou modelovány pouze ve třetím nadzemním patře, a to sice z časových důvodů.

7.7.1 Exteriér

Hlavním prvkem fasády na náměstí 28. října je bezpochyby vstupní portál. Ten se skládá z masivních dveří a velmi atypického okna, které se nad nimi nachází. Po obou stranách dveří jsou polosloupky, které nad sebou drží zdobený blok, přes který prochází průběžná římsa. Všechny tyto objekty byly nejdříve vytvořeny na odpovídajících šablonách postupy, které jsme si vysvětlili již dříve, a následně načteny do jedné rodiny, která byla umístěna do objektu.



Obr. 47 Vstupní portál v modelu

Pokud začneme modelovat fasádu od spodu, tak jsou nejprve na řadě nuty neboli drážkování. To stoupá od země zhruba do výšky necelých dvou metrů. Jedná se o profily, v nichž se nacházejí vodorovné dekorativní drážky. Pro jejich vytvoření bylo využito funkce *Stěna – Přídavek*, kterou najdeme na kartě *Architektura*. Tento nástroj slouží k přidání dekorativního horizontálního nebo vertikálního profilu ke konstrukci stěny. Přídavky se stávají součástí dané stěny, a pokud ji odmažeme nebo posuneme, přídavek udělá to stejné. Přidává se ke stěnám buďto v 3D pohledu nebo v bokoryse obsahujícím stěnu, na kterou má být umístěn. Při přidání přídavku je potřeba mu nastavit správný profil, který má být po celé délce zdi tažen. Za tímto účelem je potřeba vytvořit rodinu, která tento konkrétní profil bude obsahovat. Tyto rodiny vytváříme na šabloně s názvem *Profil*. Šablona obsahuje pouze osový kříž, do nějž nakreslíme požadovaný uzavřený profil, jehož parametry zjistíme z řezu bodovým mračnem. Poté co ho načteme do projektu a nastavíme našemu přídavku, je potřeba jej v řezu posunout do správné výšky. Přidáním několika těchto výstupků nad sebe ve správných rozstupech získáme požadované drážkování.

O něco výše střídá drážkování takzvaný bosovaný kámen. Tímto termínem se označují obdélníkové nebo čtvercové imitace kamenného zdiva. Většinou se spojují dva rozměry těchto imitací. To je i náš případ. Nejprve tedy na šabloně obecného modelu vytvoříme dva modely těchto imitací. Poté si v bočním pohledu na fasády vytvoříme z referenčních rovin mřížku podle prvních dvou řad „kamenů“. Následně vytvořené modely kamenů podle mřížky vložíme do modelu. Nyní je možné tyto dvě řady označit a pouze je kopírovat výše. Tím nám vznikne požadovaný vzhled fasády.

Nad bosáží se nám objevuje první průběžná římsa. Na přední fasádě se nachází celkem dvě a na horním okraji nalezneme hlavní římsu, která je svými rozměry a zdobením o něco složitější. Postup jejich tvorby je prakticky identický s již zmíněným drážkováním ve spodní části fasády. Asi jediným rozdílem je složitost profilu.



Obr. 48 Model průčelí

Fasáda do školního dvora je nesrovnatelně jednodušší než ta právě popsaná do ulice. Většina zdobných prvků byla umístěna jako součást rodin oken. Dále se zde vyskytují pouze dvě průběžné a jedna hlavní římsa.

7.7.2 Interiér

V interiéru byly z časových důvodů ozdobné prvky na stěnách zpracovány pouze na třetím nadzemním podlaží. Jedná se konkrétně o stropní lištu, chodbový sokl a portálové oblouky kolem dveří.

Stropní lišta i chodbový sokl se vytvoří pomocí přídatku na stěně stejně jako venkovní římsy. Oblouk kolem dveří vytvoříme na šabloně *Obecný model stěnový*, ve které se nachází stěna, na niž pomocí nástrojů Vysunutí a Tažení modelujeme. Informace o tvaru a rozměrech opět získáme z vodorovných a svislých řezů bodovým mračnem. Následné umístění je prováděno obdobně jako umísťování dveří.



Obr. 49 Chodba 3NP v modelu

8 Zhodnocení přesnosti výsledného modelu

Během měření totální stanicí byly také určeny podrobné body, které slouží pro zhodnocení přesnosti výsledného modelu. Měřeny byly body jako rohy místností, různé výstupky na sloupech a stěnách a rohy oken. Na fasádách byly měřeny body na římsách a rohy oken. Tato reprezentativní skupina 31 bodů je rovnoměrně rozložena po celém modelu a body se nachází jak na stavebních konstrukcích, tak i na externích rodínách.

Souřadnice těchto podrobných bodů byly získány z modelu v programu Revit pomocí funkcí *Souřadnice bodu* a *Výšková kóta*, které nalezneme na kartě *Poznámky*. Tyto funkce nám po výběru bodu v modelu zobrazí požadované informace, tedy souřadnice v systému S-JTSK a výšku v systému Bpv.

Souřadnice získané z modelu byly následně porovnány se souřadnicemi zjištěnými terestrickým měřením a byly vypočteny charakteristiky přesnosti.

Tab.3 Hodnocení přesnosti

BOD	MODEL - REVIT			KONTROLNÍ MĚŘENÍ			ROZDÍL			Prostorová odchylka [m]
	Y	X	H	Y	X	H	Y	X	H	
1	597751.412	1160060.487	218.716	597751.379	1160060.505	218.710	-0.033	0.018	-0.006	0.038
2	597751.375	1160060.471	223.321	597751.346	1160060.494	223.322	-0.029	0.023	0.001	0.037
3	597748.208	1160060.405	213.825	597748.216	1160060.438	213.801	0.008	0.033	-0.024	0.042
4	597725.087	1160061.171	218.644	597725.091	1160061.162	218.633	0.004	-0.009	-0.011	0.015
5	597740.623	1160060.851	218.706	597740.618	1160060.806	218.717	-0.005	-0.045	0.011	0.047
6	597728.772	1160072.308	213.810	597728.767	1160072.307	213.731	-0.005	-0.001	-0.079	0.079
7	597728.690	1160072.361	218.615	597728.681	1160072.297	218.590	-0.009	-0.064	-0.025	0.069
8	597728.733	1160072.311	223.178	597728.747	1160072.278	223.221	0.014	-0.033	0.043	0.056
9	597754.439	1160071.615	213.883	597754.452	1160071.593	213.794	0.013	-0.022	-0.089	0.093
10	597754.490	1160071.613	218.650	597754.467	1160071.596	218.653	-0.023	-0.017	0.003	0.029
11	597754.454	1160071.590	223.208	597754.442	1160071.580	223.268	-0.012	-0.010	0.060	0.062
12	597728.871	1160072.324	209.415	597728.867	1160072.296	209.412	-0.004	-0.028	-0.003	0.028
13	597736.578	1160077.977	219.107	597736.519	1160077.983	219.086	-0.059	0.006	-0.021	0.063
14	597747.051	1160077.683	219.107	597747.021	1160077.707	219.103	-0.030	0.024	-0.004	0.039
15	597736.479	1160078.045	224.794	597736.416	1160078.057	224.836	-0.063	0.012	0.042	0.077
16	597747.106	1160077.733	224.794	597747.137	1160077.768	224.873	0.031	0.035	0.079	0.092
17	597742.791	1160061.495	211.947	597742.800	1160061.497	211.918	0.009	0.002	-0.029	0.030
18	597739.992	1160061.568	211.947	597739.969	1160061.590	211.911	-0.023	0.022	-0.036	0.048
19	597742.791	1160061.495	208.022	597742.789	1160061.510	208.022	-0.002	0.015	0.000	0.015
20	597739.992	1160061.568	208.022	597739.988	1160061.589	208.013	-0.004	0.021	-0.009	0.023
21	597746.048	1160076.742	211.353	597746.013	1160076.715	211.382	-0.035	-0.027	0.029	0.053
22	597737.525	1160076.981	213.338	597737.564	1160076.914	213.353	0.039	-0.067	0.015	0.079
23	597736.771	1160071.488	214.878	597736.716	1160071.443	214.860	-0.055	-0.045	-0.018	0.073
24	597736.711	1160068.826	214.878	597736.638	1160068.855	214.879	-0.073	0.029	0.001	0.079
25	597746.485	1160071.191	214.878	597746.549	1160071.166	214.895	0.064	-0.025	0.017	0.071
26	597746.048	1160076.742	216.293	597745.982	1160076.712	216.294	-0.066	-0.030	0.001	0.073
27	597737.525	1160076.981	218.294	597737.555	1160076.928	218.302	0.030	-0.053	0.008	0.061
28	597739.694	1160071.661	221.218	597739.708	1160071.695	221.220	0.014	0.034	0.002	0.037
29	597740.153	1160071.644	221.218	597740.147	1160071.681	221.217	-0.006	0.037	-0.001	0.037
30	597736.781	1160071.430	219.658	597736.709	1160071.425	219.662	-0.072	-0.005	0.004	0.072
31	597736.732	1160068.835	219.658	597736.659	1160068.865	219.646	-0.073	0.030	-0.012	0.080

Střední chyby

Střední souřadnicová chyba	0.035 m
Střední výšková chyba	0.023 m
Střední prostorová chyba	0.042 m

Maximální rozdíly

Y [m]	X [m]	H [m]	3D [m]
0.073	0.067	0.089	0.093

Z posouzení diferencí dvojího určení souřadnic a výšek kontrolních bodů vyplývá, že byl dodržen požadavek na přesnost výsledného modelu, která se má pohybovat v řádu centimetrů. Hodnota střední chyby dvojího určení prostorové polohy kontrolních bodů činí 4,2 cm.

Rozdíly v určení souřadnic přesahující hodnotu 7 cm jsou zpravidla lokalizovány na rozích místností a jsou způsobeny proměnlivou šířkou stěn a „zvlněnou“ podlahou. Tyto větší odchylky tedy vznikaly generalizací těchto nerovností.

Původní soubor kontrolních bodů byl rozsáhlejší. Velké množství bodů se ale nachází na nejružnějších okrasných prvcích, které byly v rámci zjednodušení z finálního modelu vyloučeny. Nicméně, i přes jejich absenci, poskytuje tento soubor reprezentativní výběr kontrolních bodů.

9 Výstupy práce

Následující tabulka vyjadřuje přibližnou časovou náročnost jednotlivých úkonů, které vedly k vyhotovení požadovaných výstupů práce.

Tab.4 Časová náročnost

	Popis činnosti		Časový odhad [h]
Terénní práce	Rekognoskace a rozmístění vlíčovacích bodů		2
	Laserové skenování		35
	Budování měřické sítě		9
	Určení výšek trvale stabilizovaných bodů - technická nivelace		2
Kancelářské práce	Výpočet souřadnic a výšek bodů		10
	Tvorba výsledného bodového mračna	Spojování a zpracování skenů - SCENE	20
		Editace mračna - RealWorks	4
	Tvorba 3D modelu	Zavedení souřadnicového a výškového systému	1
		Modelace stavebních konstrukcí	30
		Tvorba externích rodnin objektů - běžné objekty	50
		Tvorba externích rodnin objektů - atypické objekty	120
		Modelace fasády	20
	Účelová mapa		3

Z výše uvedeného vyplývá, že časově nejnáročnější položkou je tvorba externích rodnin atypických objektů, jako jsou sloupy či ozdobné prvky v okolí oken, které se v modelu hojně vyskytují. V případě modelu objektu bez těchto ozdobných architektonických prvků by byla časová náročnost takřka poloviční. Také je potřeba připomenout, že laserové skenování bylo prováděno dvěma přístroji současně.

9.1 3D model objektu

Primárním výstupem z práce je 3D model části objektu. SPŠ Stavební bude předán ve formátech *.RVT a *.IFC. Z důvodu ochrany citlivých údajů byl do příloh této práce uložen model bez popisných informací, který obsahuje pouze vnější plášť budovy.

Model je vyhotoven pouze na základě měřených dat a veřejně dostupných informací. V rámci této práce nebyly zjišťovány informace jako skladba stěn, materiály a výrobci různých objektů, jako jsou například dveře či okna a podobně.

Při zadání práce nebylo blíže specifikováno, například parametrem LOD, v jaké míře podrobnosti by měl být model vytvořen. Požadavkem bylo pouze vymodelovat základní stavební konstrukce. Jelikož ale výsledný model obsahuje přesnou geometrii, lze jej označit jako LOD 300.

Výsledný model tedy obsahuje stěny, přičemž jejich šířka odpovídá realitě tam, kde byly naskenovány z obou stran. V případě stěny, kterou bylo nutno do modelu umístit, ale nebylo možné její šířku určit z bodového mračna, byla šířka odhadnuta na základě okolních stěn. Jejich skladba nám nebyla známa, a z toho důvodu byla všude použita cihlová stěna s omítkou.

Dále model obsahuje podlahy, jejichž skladba také nebyla zjištěna. Skládá se tedy ze svrchní vrstvy, jejíž materiál je v terénu zjištěný, a z konstrukční vrstvy, pro níž byl použit základní typ podlahy v Revitu. U podhledů bylo upuštěno od modelace kleneb a byl použit základní typ z nabídky.

Pro schody bylo použito betonové monolitické schodiště se žulovými schodnicemi. Do modelu bylo také umístěno zábradlí. V okolí hlavního schodiště se nachází okrasné kovové zábradlí, obrazce v něm byly ovšem zjednodušeny. To neplatí pro balustrádu, která se nachází po stranách schodiště v lobby. Ta se velmi přibližuje realitě.

Střecha v modelu byla vytvářena při minimálním množství informací. Známa byla pouze prostorová poloha jejího hřebenu, získaná z měření totální stanicí, a střešní římsa, která byla naskenována při měření fasády. Střechu tedy tvoří pouze plášť bez konstrukčních prvků.

Externí rodiny oken, dveří a sloupů byly vytvářeny také pouze na základě informací pořízených laserovým skenerem, tudíž neobsahují informace o výrobcí, přesný typ materiálu, životnost a podobně. Materiály byly vybírány ze základní knihovny materiálů v aplikaci Revit, tak aby se co nejvíce přibližovaly realitě. Úroveň detailů na těchto objektech je lepší než 4 cm. Stejně detailně jsou také modelovány fasády na objektu.

9.2 Bodové mračno

Dalším důležitým výstupem je výsledné bodové mračno, které bude předáno ve formátech *.LAS a *.e57. To obsahuje pouze budovu. Okolí a body mimo požadovanou část budovy byly odmazány. Z mračna byly také odstraněny obsahy některých kanceláří

a různé šumové body, jako třeba odrazy od lesklých ploch nebo naskenované osoby. Jelikož by měly výsledky práce sloužit k výukovým účelům, byly v mračnu pro ukázkou ponechána některá typická problematická místa, jako například částečně naskenované postavy a nezakryté zrcadlo ve třetím nadzemním podlaží. Rozlišení mračna je činí 5 mm.

Bodové mračno nalézající se v přílohách této práce bylo opět v zájmu ochrany citlivých údajů zredukováno. V přílohách je mračno pouze ve formátu *.LAS a je nařaděno tak, že vzdálenost mezi jednotlivými body se rovná 5 cm.

9.3 Účelová mapa

Jedním z výstupů je také účelová mapa nejbližšího okolí zpracovávané části budovy ve formátech *.dgn a *.pdf. Při skenování fasád bylo naskenováno i nejbližší okolí školy. Právě z těchto dat byla následně mapa vytvořena.

Samotná mapa byla vytvořena spíše jako pomůcka či podklad sloužící pro vytváření přehledek bodů a jako podklad pro modelaci přilehlého okolí školy, především pak k modelaci ulice před školou. Mapa byla vytvářena v programu GeoStore V6-3D na podkladě zredukováného bodového mračna exportovaného z programu RealWorks ve formátu *.LAS.



Obr. 50 Bodové mračno pro tvorbu účelové mapy

9.4 Ostatní výstupy

Součástí elaborátu jsou také zápisníky měření, výpočetní protokoly, seznamy souřadnic, přehledky měřické sítě a vizualizace 3D modelu a bodového mračna.

10 Závěr

Úvodem práce byla přestavena SPŠ Stavební v Brně a její budova, především pak její část, kterou jsem měl za úkol zpracovat. Dále byly popsány teoretické základy problematiky BIM a laserového skenování. Následně podrobně popisují tvorbu BIM modelu, během které jsou tyto základy prakticky aplikovány. Závěrem práce jsou pak popsány jednotlivé výstupy, které z mé práce vzešly.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo především vytvořit 3D model části budovy, přičemž další výstupy, jako bodové mračno či souřadnice bodů, jsou spíše vedlejšími produkty. Model jako takový vznikl pouze na základě informací získaných během laserového skenování a veřejně dostupných informací. Model tedy neobsahuje informace jako je skladba zdí nebo informace o elektroinstalaci či systému vytápění. To samé platí taky u mnou vytvořených objektů jako dveře a okna, které neobsahují konkrétní informace o typu materiálu nebo výrobci. Všechny tyto informace lze ovšem do modelu jednoduše doplnit, případně v modelu provádět úpravy a udržovat ho tak v aktuálním stavu.

Jelikož má být celý elaborát předán SPŠ Stavební, kde by měl sloužit k účelům výuky, očekávám, že se právě tímto přidáváním informací a úpravami bude model dále zdokonalován.

Vzhledem k tomu, že se jedná o historickou budovu s velmi složitou skladbou, často proměnlivou tloušťkou zdí a velkým množstvím architektonických prvků všech tvarů a velikostí, bylo upuštěno od využití softwarů Scan-to-BIM a tvorba probíhala manuálně.

Samotná modelace zdí a podlaží probíhala i při absenci těchto nástrojů poměrně rychle a vznikaly pouze lokální problémy, jako třeba problematické napojování zdí a podobně. Mnohem více času ovšem generovala tvorba takzvaných rodin objektů. U několika prvních objektů jsem zvolil příliš velkou úroveň detailů, od které jsem byl následně nucen odstoupit z časových důvodů. Takto detailně byla pro ukázkou vymodelována pouze chodba na třetím nadzemním podlaží.

Obecně lze říci, že z práce s Revitem je poznat, že nebyl primárně určen k tvorbě podobných modelů historických budov, jako tomu je v mém případě. Nicméně se najde

spousta softwarových nadstaveb, které práci urychlí a zefektivní. Musím také uznat, že velká časová náročnost částečně plynula z mých omezených zkušeností s prací v tomto programovém prostředí a z malého množství literatury, ve které by byly potřebné postupy popsány.

Věřím však, že při práci zkušeného týmu s odpovídajícím hardwarovým a softwarovým vybavením tvorba podobného modelu nepředstavuje vůbec žádný problém a je mnohem efektivnější a hospodárnější, než kdyby byl objekt místo laserového skeneru měřen totální stanicí.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] Střední průmyslová škola stavební Brno: Historie školy. *Střední průmyslová škola stavební Brno: Historie školy* [online]. Brno: Střední průmyslová škola stavební Brno [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.spsstavbrno.cz/index.php/historie-skoly/>
- [2] Střední průmyslová škola stavební. *Internetová encyklopedie dějin Brna* [online]. Brno: Internetová encyklopedie dějin Brna, 2019 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_domu&load=202
- [3] Císařsko-královská německá vyšší státní průmyslová škola. *Národní památkový ústav: Památkový katalog* [online]. Praha: Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/cisarsko-kralovska-nemecka-vyssi-statni-prumyslova-skola-15863090>
- [4] A co je vlastně ten BIM?. *Bim.Point* [online]. Praha: di5.Tech, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bim-point.com/blog/a-co-je-vlastne-ten-bim>
- [5] Koncepce zavádění metody BIM v České republice. *Koncepce BIM* [online]. Praha: MINISTERSVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.koncepcbim.cz/uploads/inq/files/Koncepce%20zav%C3%A1d%C4%9Bn%C3%AD%20metody%20BIM%20v%20C4%8CR.pdf>
- [6] Historie BIM: Historie a budoucnost technologie BIM. *BIMfo* [online]. Praha: BIMfo, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Historie-BIM.aspx>
- [7] CHERKAOU, Houdayfa. A history of BIM. *LetsBuild* [online]. LetsBuild, 2021 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim>
- [8] NOVOTNÁ, Helena. *Základy BIM – Revit Architecture seznámení s programem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. ISBN 978-80-214-5023-3.
- [9] TUNKA, Lukáš. LOD - Level Of Development: Co znamená pojem Level of Development pro spolehlivost informačního modelu stavby. *BIMfo* [online]. Praha: BIMfo, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-Level-Of-Development.aspx>
- [10] TUNKA, Lukáš. LOD = LOD + LOI: Informační podrobnost BIM modelu. *BIMfo* [online]. Praha: BIMfo, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-LOI.aspx>
- [11] Autodesk Revit. *Arkance Systems* [online]. Praha: Arkance Systems, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.arkance-systems.cz/produkty/stavebnictvi-a-architektura/autodesk-revit>
- [12] GREENWOLD, Simon. *Informační model budovy v aplikaci Revit Architecture*. 2004. Skripta.

- [13] ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. *Terestrické skenovací systémy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [14] ŠTRONER, Martin. *Možnosti zvyšování přesnosti 3D skenování*. Praha, 2016. České vysoké učení technické v Praze.
- [15] *FARO LASER SCANNER USER MANUAL*. Lake Mary, Florida, 2017. Dostupné také z: https://hydrosurveyor.me/wp-content/plugins/pdfjs-viewer-shortcode/pdfjs/web/viewer.php?file=https%3A%2F%2Fhydrosurveyor.me%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F06%2FE1667B_FARO_Laser_Scanner_Focus_Manual_EN.pdf&download=true&print=true&openfile=false
- [16] BILOVÁ, Karolína. Autodesk Revit – Sdílené souřadnice. *REVITblog* [online]. Praha: Adeon, 2020 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.revit3dblog.cz/sdilene-souradnice/>
- [17] About Point Clouds. *Autodesk: Autodesk Knowledge Network* [online]. Autodesk, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Revit-Model/files/GUID-BD499295-84DD-4BDE-B60D-73008AFBC791-htm.html>
- [18] Create an Extrusion. *Autodesk: Autodesk Knowledge Network* [online]. Autodesk, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Model/files/GUID-3643FF3B-5196-4F91-821F-A2D12999B2EF-htm.html>
- [19] Create a Sweep. *Autodesk: Autodesk Knowledge Network* [online]. Autodesk, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E1A36DCB-C629-44BE-9400-2D02D13CF7F4-htm.html>
- [20] WHAT IS BIM. In: *BIMMDA* [online]. BIMMDA, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://bimmda.com/en/what-is-bim>

12 Seznam obrázků

Obr. 1 SPŠ Stavební Brno.....	12
Obr. 2 Building Information Modeling [20]	13
Obr. 3 LOD [9].....	17
Obr. 4 FARO Focus - rozsah skenování [15].....	20
Obr. 5 FARO Focus - princip měření [15].....	21
Obr. 6 Trimble M3 DR2 II.....	23
Obr. 7 Trimble M3 DR2	23
Obr. 8 FARO Focus	24
Obr. 9 Sada referenčních koulí	25
Obr. 10 Leica Sprinter 150M.....	25
Obr. 11 Nastavení parametrů skenování	27
Obr. 12 Rozmístění referenčních koulí.....	28
Obr. 13 Naskenované postavy v bodovém mračnu	29
Obr. 14 Quick view zobrazení.....	30
Obr. 15 Určení referenční koule	31
Obr. 16 Navazovací body.....	32
Obr. 17 Odchyly na navazovacích bodech	33
Obr. 18 Correspondence View.....	34
Obr. 19 Obarvené bodové mračno	34
Obr. 20 Editované bodové mračno	35
Obr. 21 Podlaží v programu Revit.....	40
Obr. 22 Vodorovný řez mračnem	41
Obr. 23 Problematický spoj stěn.....	42
Obr. 24 Skladba podlahy	43
Obr. 25 Řez schodištěm.....	44
Obr. 26 Schodiště v 3NP	45
Obr. 27 Schodiště ve vstupní hala.....	45
Obr. 28 Vysunutí	47
Obr. 29 Profil vysunutí	47
Obr. 30 Trajektorie tažení	48
Obr. 31 Tažení.....	48
Obr. 32 Přejít - původní profil	48
Obr. 33 Přejít - konečný profil.....	48
Obr. 34 Dutý tvar - profil	49
Obr. 35 Dutý tvar	49
Obr. 37 Svislý řez mračnem - dveře	50
Obr. 38 Vodorovný řez mračnem - dveře.....	50
Obr. 39 Dveře umístěné v modelu.....	51
Obr. 40 Externí rodina dveří	52
Obr. 41 Rodina dveří - půdorysný pohled	52
Obr. 42 Okno do školního dvora.....	53
Obr. 43 Okno na průčelí	53
Obr. 44 Externí rodina - sloup	54

Obr. 45 Sloup v bodovém mračnu	54
Obr. 46 Externí rodina - sloup zábradlí	55
Obr. 47 Externí rodina - sloupek balustrády.....	56
Obr. 48 Vstupní portál v modelu	57
Obr. 49 Model průčelí	59
Obr. 50 Chodba 3NP v modelu	60
Obr. 51 Bodové mračno pro tvorbu účelové mapy	65

13 Seznam tabulek

Tab. 1 Trimble M3 DR2 - parametry	23
Tab. 2 FARO Focus - parametry	24
Tab. 3 Hodnocení přesnosti.....	61
Tab. 4 Časová náročnost	63

14 Seznam použitých zkratk

BIM	Building Information Modeling
GNSS	Globální Navigační Satelitní Systémy
SPŠ	Střední Průmyslová Škola
LOD	Level Of Development
ČSNS	Česká státní nivelační síť
CZEPOS	Síť permanentních stanic GNSS České republiky
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém baltský – po vyrovnání
CAD	Computer-aided design (počítačem podporované projektování)
RTK	Real Time Kinematics
IFC	Industry Foundation Classes

15 Seznam příloh

1. Účelová mapa
2. Přehledka měřické sítě
3. Vizualizace
 - 3.1. Vizualizace modelu – Průčelí
 - 3.2. Vizualizace modelu – Průčelí II
 - 3.3. Vizualizace modelu – Fasáda školní dvůr
 - 3.4. Vizualizace modelu – Vstupní hala
 - 3.5. Vizualizace modelu – Schodiště
 - 3.6. Vizualizace modelu – Chodba
 - 3.7. Vizualizace modelu – Chodba II
 - 3.8. Vizualizace modelu – Suterén
 - 3.9. Vizualizace bodového mračna – Průčelí
 - 3.10. Vizualizace bodového mračna – Fasáda školní dvůr
4. DVD (elektronické přílohy)
 - 4.1. 3D model objektu.ifc
 - 4.2. Bodové mračno.las
 - 4.3. Účelová mapa.dgn
 - 4.4. Měřená data
 - 4.4.1. Zápisník měření.zap
 - 4.4.2. Měřená data.job
 - 4.4.3. Protokol měření GNSS.txt
 - 4.4.4. Nivelační zápisník.pdf
 - 4.5. Výpočetní protokoly
 - 4.5.1. Protokol vyrovnání měřické sítě.txt
 - 4.5.2. Protokol výpočtu polární metody.txt
 - 4.6. Seznamy souřadnic
 - 4.6.1. Seznam souřadnic bodů měřické sítě.txt
 - 4.6.2. Seznam souřadnic vlíčovacích bodů.txt
 - 4.6.3. Seznam souřadnic podrobných bodů.txt